EMISSIONI IN LAGUNA

QUADERNO VSF | 5
novembre 2026

Indagine esplorativa dell'impatto del trasporto di persone nei canali di Venezia

Roshan Borsato, Anna D'Este, Silvia Oliva
Florian George Bonadeo, Carla Riccio, Andrea Sangermano



VSF
VENICE SUSTAINABILITY FOUNDATION

TRANSIZIONE ENERGETICA E AMBIENTE

EMISSIONI IN LAGUNA
Indagine esplorativa dell'impatto del trasporto di persone nei canali di Venezia

Roshan Borsato, Anna D'Este, Silvia Oliva
Venice Sustainability Foundation

Florian George Bonadeo, Carla Riccio, Andrea Sangermano
AVL Italia

Abstract

Il presente studio analizza l'impatto ambientale della mobilità nautica nella laguna di Venezia, con particolare attenzione alle emissioni di ossidi di azoto (NOx) prodotte dalle imbarcazioni in condizioni reali di esercizio.

Nato da un confronto con la Regione del Veneto, lo studio ha coinvolto, oltre a VSF, AVL Italia, Sanlorenzo, PwC, Alilaguna e il Comune di Venezia, attraverso ACTV e AVM. La ricerca si inserisce nel quadro delle politiche europee e nazionali di decarbonizzazione dei trasporti e risponde all'esigenza di disporre di dati sperimentali utili a orientare le scelte pubbliche in un sistema di mobilità particolarmente complesso e in un contesto ambientale fragile. Le campagne di monitoraggio, condotte da AVL Italia mediante la metodologia PEMS (Portable Emissions Measurement System), hanno interessato imbarcazioni delle flotte ACTV e Alilaguna, confrontando motorizzazioni di diversa generazione tecnologica: Stage IIIA, Stage V e propulsione ibrida.

Nelle condizioni operative monitorate, i risultati evidenziano riduzioni delle emissioni di NOx comprese tra il 13% e il 34% nel confronto tra motorizzazioni Stage IIIA e Stage V per le imbarcazioni ACTV e fino al 49% di riduzione delle emissioni nel confronto tra i motori più datati (Stage III) e il sistema ibrido per Alilaguna. I dati evidenziano, altresì, una correlazione tra profili di accelerazione e picchi emissivi, indicando l'efficacia complementare di strategie di *eco-driving* nautico nell'abbattimento delle emissioni a breve termine.

Lo studio fornisce una prima base di dati sperimentali sulle emissioni della mobilità nautica lagunare, utile a supportare le scelte relative al rinnovo tecnologico della flotta e le future attività di monitoraggio, in coerenza con gli Obiettivi di sviluppo sostenibile e la Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile della Regione del Veneto.

Keyword: mobilità nautica sostenibile, laguna di Venezia, emissioni NOx, PEMS, decarbonizzazione, trasporto acqueo, ACTV, Alilaguna, propulsione ibrida.

Indice

Executive summary **5**

Nota metodologica **8**
Contesto e obiettivi della campagna di misura 8
Strumentazione e metodologia PEMS 8
Quadro normativo di riferimento 9
Disegno delle campagne di misurazione 9
Limitazioni operative e scelte metodologiche conseguenti 10
Validità e rappresentatività dei risultati 10

Prefazione **12**
Contesto internazionale 12
Contesto europeo 13
Contesto italiano 14

1. Il caso Venezia **16**
1.1 Inquadramento generale 16
1.2 Le questioni strutturali e ambientali 17
1.3 Le sfide per rendere più efficiente l'operatività della mobilità lagunare 20

2. Monitoraggio delle emissioni in esercizio reale nella laguna di Venezia. Analisi comparativa delle emissioni di NOx prodotte da diverse configurazioni motoristiche **21**
2.1 La ricerca: obiettivi e contesto 21
2.2 Gli strumenti di misurazione 22
2.3 Il caso ACTV: confronto tra Stage IIIA, Stage V 23
2.3.1 Disegno della campagna e condizioni operative 23
2.3.2 Risultati emissivi di ACTV nella prima campagna 25
2.3.3 Risultati emissivi della seconda campagna ACTV 25
2.4 Il caso Alilaguna: confronto tra motorizzazione Stage III, Stage V e ibrida 26
2.4.1 Disegno della campagna Alilaguna e condizioni operative 26
2.4.2 Risultati emissivi: la gerarchia tra le tre motorizzazioni 28
2.5 Lettura trasversale e implicazioni per la pianificazione della flotta 29
2.6 Prossimi step di ricerca 30

3. Conclusioni e raccomandazioni future **32**

Ringraziamenti **35**

Bibliografia **36**

Sitografia **38**

Autori **39**

Elenco delle abbreviazioni

ACTV: Azienda del Consorzio Trasporti Veneziano
AIS: Automatic Identification System
ARPAV: Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto
AVM: Azienda Veneziana della Mobilità
CO: Monossido di carbonio
CO_2: Anidride carbonica (Diossido di carbonio)
ECU: Engine Control Unit
EEA: European Environment Agency
ETS: Emissions Trading System
FESR: Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
GPS: Global Positioning System
IEA: International Energy Agency
IMO: International Maritime Organization
IPA: Idrocarburi Policiclici Aromatici
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
ISM: In-Service Monitoring
ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
ISTAT: Istituto Nazionale di Statistica
ITF: International Transport Forum
JRC: Joint Research Centre
MASE: Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica
MIT: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
MoMa: Monitoraggio Mobilità Nautica
MRV: Monitoring, Reporting, Verification
NO_2: Biossido di azoto
NOx: Ossidi di azoto
NRMM: Non-Road Mobile Machinery
OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development
PEMS: Portable Emissions Measurement System
PM10: Particolato (diametro ≤ 10 µm)
PM2.5: Particolato fine (diametro ≤ 2,5 µm)
PNIEC: Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima
PNRR: Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza
PUMS: Piano Urbano della Mobilità Sostenibile
PwC: PricewaterhouseCoopers
SDG: Sustainable Development Goal
SISUS: Strategie Integrate di Sviluppo Urbano Sostenibile
SRSvS: Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile
Stage IIIA: Standard emissivo europeo - generazione precedente
Stage V: Standard emissivo europeo - generazione più recente
TEA: Transizione Energetica e Ambiente
UNEP: United Nations Environment Programme
UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
VSF: Venice Sustainability Foundation

Elenco delle figure

Figura 1 *- Mappa dei canali e dei rii di Venezia* *16*
Figura 2 *- Mappa delle linee di navigazione ACTV* *17*
Figura 3 *- Installazione degli strumenti di rilevazione sulle imbarcazioni ACTV* *22*
Figura 4 *- Percorso 1ª campagna di rilevazione ACTV* *24*
Figura 5 *- Percorso 2ª campagna di rilevazione ACTV* *24*
Figura 6 *- Trend di emissioni di NOx 1ª campagna ACTV* *25*
Figura 7 *- Trend di emissioni di NOx 2ª campagna ACTV* *26*
Figura 8 *- Percorso campagna di rilevazione Alilaguna Stage III e Stage V* *27*
Figura 9 *- Percorso campagna di rilevazione Alilaguna motore ibrido* *27*
Figura 10 *- Installazione degli strumenti di misurazione sulle imbarcazioni Alilaguna* *28*
Figura 11 *- Trend di emissioni NOx per le tre categorie di motore* *29*
Figura 12 *- Localizzazione delle telecamere utilizzate dal sistema MoMa* *31*

Executive summary

La laguna di Venezia ospita un sistema di mobilità acquea urbana particolarmente complesso, articolato su oltre 150 canali navigabili e percorso quotidianamente da più di 500 imbarcazioni a motore destinate al trasporto pubblico e commerciale, cui si aggiungono centinaia di mezzi privati e turistici. In un contesto ambientale di eccezionale fragilità, riconosciuto patrimonio UNESCO, ridurre l'impatto della navigazione rappresenta una sfida fondamentale per la sostenibilità della città.

Lo studio nasce dall'**esigenza di disporre di dati sulle emissioni effettivamente prodotte dalle imbarcazioni durante la navigazione**. L'obiettivo è misurare le emissioni in condizioni reali di esercizio, confrontare le prestazioni ambientali di motorizzazioni di diversa generazione tecnologica - Stage IIIA, Stage V e propulsione ibrida - e valutare i possibili benefici associati al rinnovo della flotta.

La ricerca e le campagne di monitoraggio

La ricerca ha coinvolto diversi partner nelle tre fasi dello studio: progettazione, realizzazione delle misurazioni e analisi dei dati. AVL Italia ha partecipato a tutte e tre le fasi; Alilaguna e AVM/ACTV del Comune di Venezia hanno contribuito alla realizzazione delle misurazioni, mentre PricewaterhouseCoopers (PwC) e Sanlorenzo hanno preso parte alla progettazione e all'analisi dei risultati.

Le misurazioni sono state **condotte mediante sistemi portatili PEMS** (Portable Emissions Measurement Systems), installati direttamente a bordo delle imbarcazioni. A differenza delle prove al banco motore, questa metodologia consente di rilevare le emissioni durante il normale esercizio, considerando le condizioni effettive della navigazione: variazioni del carico passeggeri, manovre di accosto, correnti, moto ondoso e intensità del traffico acqueo.

Nel corso del 2025 sono state realizzate **due campagne di monitoraggio e misurazione**, con caratteristiche differenti.
La prima, svolta in luglio, ha interessato la **flotta ACTV** lungo un tracciato di circa 14 km, comprendente Canal Grande, Canale della Giudecca e tratti lagunari aperti e la **flotta Alilaguna** su un tracciato lagunare di circa 24 km, con confronto diretto tra una motorizzazione di vecchia concezione, un motore di nuova generazione e un sistema ibrido in piena operatività (solo per il secondo operatore).
La seconda campagna, condotta nel settembre 2025, ha riguardato nuovamente le imbarcazioni ACTV, introducendo un misuratore della portata dei gas di scarico (*exhaust flow meter*). Questo strumento ha consentito di integrare le misurazioni precedenti, passando dagli indicatori emissivi relativi, come il rapporto NOx/CO_2, alla quantificazione delle masse assolute di NOx emesse.

I principali risultati

Le campagne hanno evidenziato **differenze significative tra le motorizzazioni analizzate, coerenti con le rispettive caratteristiche tecnologiche.** I risultati mostrano, nelle condizioni monitorate, prestazioni ambientali più favorevoli per le motorizzazioni di nuova generazione e per la propulsione ibrida.

I risultati si riferiscono a indicatori differenti, misurati nelle due campagne: il primo riporta il rapporto NOx/CO_2 medio - indicatore che normalizza le emissioni di ossidi di azoto rispetto alla CO_2 prodotta, approssimando così il contributo emissivo per unità di energia liberata dalla combustione, mentre

il secondo quantifica la massa di NOx effettivamente emessa. Entrambi forniscono elementi utili a valutare le differenze tra le motorizzazioni esaminate, pur non rappresentando misure direttamente equivalenti.

Nel caso ACTV, il confronto tra motorizzazioni Stage IIIA e Stage V ha evidenziato una riduzione del 13% del rapporto NOx/CO_2 nella prima campagna e del 34% delle emissioni assolute di NOx nella seconda. Quest'ultima ha inoltre rilevato una diminuzione del 43% dei consumi di carburante a parità di percorso. Entrambi i dati, sia quello in valori relativi (NOx/CO_2), sia quelli in termini assoluti (NOx) forniscono elementi utili a valutare le differenze emissive tra i motori utilizzati.
Nel caso Alilaguna, il confronto tra le diverse configurazioni motoristiche ha evidenziato una riduzione del 26% del valore di NOx/CO_2 nel passaggio dalla motorizzazione di precedente generazione a quella più recente. L'ulteriore transizione al sistema ibrido in piena operatività ha determinato una riduzione aggiuntiva del 31%, per un abbattimento complessivo prossimo al 50% rispetto alla motorizzazione di precedente generazione.

Nel loro insieme, **le evidenze prodotte** forniscono una prima analisi esplorativa sulle emissioni reali della flotta lagunare: i dati raccolti indicano che, nelle condizioni monitorate, il **rinnovo motoristico verso standard Stage V e configurazioni ibride è associato a riduzioni significative delle emissioni**.

Un altro aspetto emerso dalle misurazioni riguarda la relazione tra le modalità di navigazione e le emissioni. I picchi emissivi si concentrano soprattutto nelle fasi di accelerazione e nelle variazioni del carico motore, suggerendo che, accanto all'innovazione tecnologica, anche una conduzione più efficiente delle imbarcazioni possa contribuire a ridurre l'impatto ambientale.

Le implicazioni per la mobilità lagunare

Le evidenze raccolte indicano due ambiti di intervento complementari.
Il primo riguarda il **rinnovo tecnologico della flotta**, attraverso l'adozione progressiva di motorizzazioni più recenti e sistemi di propulsione a minore impatto ambientale. Il confronto tra le tecnologie esaminate offre indicazioni utili per orientare i futuri investimenti.
Il secondo riguarda la **gestione operativa della navigazione**. L'adozione di pratiche di *eco-driving* nautico, l'ottimizzazione dei profili di velocità e la formazione degli equipaggi possono affiancare il rinnovo delle motorizzazioni, con potenziali benefici anche nel breve periodo. Si tratta di interventi complementari all'innovazione tecnologica, che possono contribuire a ridurre ulteriormente le emissioni.

Dalle prime evidenze ai prossimi sviluppi

Le campagne condotte costituiscono **una prima base di dati sperimentali** sulle emissioni della mobilità nautica lagunare. I risultati si riferiscono tuttavia a un numero limitato di imbarcazioni e a specifiche condizioni operative e ambientali: consentono quindi confronti tra le configurazioni esaminate, ma non possono essere automaticamente estesi all'intera flotta.

Per sviluppare una valutazione complessiva delle emissioni prodotte dal traffico nautico veneziano **sarà necessario ampliare il monitoraggio ad altre categorie di imbarcazioni**, tra cui taxi acquei, mezzi per il trasporto delle merci, nautica turistica e privata, e definire linee guida per il monitoraggio delle emissioni in esercizio (ISM) adeguate alle specificità lagunari.

Un ulteriore sviluppo riguarda l'**integrazione delle misurazioni con i dati del sistema MoMa** (Monitoraggio Mobilità Nautica) della Smart Control Room del Comune di Venezia, relativi al numero medio e alla tipologia delle imbarcazioni presenti quotidianamente nei canali cittadini.

L'obiettivo è **costruire progressivamente una base conoscitiva più ampia**, capace di supportare le scelte di pianificazione e gli investimenti necessari alla transizione verso una mobilità nautica più sostenibile, in coerenza con le politiche europee di decarbonizzazione dei trasporti e con gli obiettivi della Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile della Regione del Veneto

Nota metodologica

a cura di AVL Italia

Contesto e obiettivi della campagna di misura

Le campagne di monitoraggio descritte nel presente rapporto sono state progettate per misurare le emissioni inquinanti generate dalle imbarcazioni operanti in condizioni di esercizio reale nella laguna di Venezia. L'obiettivo è produrre dati empirici rappresentativi dell'uso effettivo dei mezzi nautici, superando i limiti intrinseci delle prove al banco motore, le quali si svolgono in condizioni controllate e non riflettono le variabili operative tipiche del contesto lagunare (carico passeggeri, correnti, maree, traffico acqueo, variazioni di assetto e resistenza idrodinamica).

I motori installati a bordo dei mezzi analizzati sono già omologati e certificati secondo le normative vigenti; le campagne ISM (In-Service Monitoring) non si sostituiscono alle prove di omologazione, ma le integrano con dati riferiti all'operatività concreta.

L'attività di misurazione ha coinvolto diversi tipi di motori, utilizzati nelle imbarcazioni ACTV e Alilaguna, sia endotermici che ibridi.

In particolare, per i motori endotermici, sono state misurate le emissioni dei motori Stage III e Stage V, definiti tali in base alla normativa comunitaria[1] che ha fissato limiti progressivi per NOx, particolato (PM), HC e CO emessi dai motori diesel non stradali, comprese le imbarcazioni fluviali/lagunari per migliorare la qualità dell'aria, soprattutto in contesti sensibili come i centri storici e le aree lagunari dove il traffico acqueo è denso e ravvicinato agli edifici.

Nello specifico:

- **Stage III:** si tratta di una classe di motori endotermici a emissione intermedia, introdotta dalla direttiva 97/68/CE (poi modificata dalla 2004/26/CE). L'introduzione di questo standard si è articolata in due sotto-fasi: a) Stage IIIA (obbligatoria per le nuove immatricolazioni indicativamente dal 2006-2009 a seconda della categoria di potenza); b) Stage IIIB (dal 2011-2012), quest'ultima con limiti più severi sul particolato.
- **Stage V**: è lo standard attualmente in vigore, introdotto dal Regolamento (UE) 2016/1628, che ha abrogato la 97/68/CE. È entrato in vigore progressivamente dal 2019-2020 ed è oggi obbligatorio per tutti i nuovi motori immessi sul mercato, comprese le categorie IWP e IWA (propulsione e ausiliari per natanti). Rispetto allo Stage III, lo Stage V estende i limiti anche a fasce di potenza prima non regolamentate, introduce il controllo del numero di particelle (PN) oltre che della massa di particolato (PM), e riduce ulteriormente i limiti di NOx e HC.

Strumentazione e metodologia PEMS

Le misure sono state eseguite con sistemi PEMS (Portable Emissions Measurement System) metodologia certificata e consolidata a livello europeo nei settori automotive, industriale e marittimo.

1 REGOLAMENTO (UE) 2016/ 1628 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO - del 14 settembre 2016 - relativo alle prescrizioni in materia di limiti di emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante e di omologazione per i motori a combustione interna destinati alle macchine mobili non stradali, e che modifica i regolamenti (UE) n. 1024/ 2012 e (UE) n. 167/ 2013 e modifica e abroga la direttiva 97/ 68/ CE: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1628

La strumentazione impiegata è la stessa utilizzata dai principali costruttori di motori e produttori di flotte commerciali.

Il sistema PEMS integra:
- analizzatori gas per la misurazione delle concentrazioni di inquinanti allo scarico;
- *exhaust flow meter* per la stima del flusso di gas di scarico (introdotto a partire dalla seconda campagna di misura);
- ricevitori GPS per la ricostruzione del profilo di velocità e navigazione;
- accelerometri per la caratterizzazione dinamica dell'imbarcazione.

Il personale coinvolto nelle campagne è formato e certificato per lo svolgimento di attività PEMS, con esperienza pregressa in contesti marittimi, incluse prove già effettuate nella laguna di Venezia in collaborazione con l'azienda Bimotor per la valutazione delle emissioni di mototopi equipaggiati con motori FPT.

La strumentazione, sottoposta a una verifica preliminare per il monitoraggio delle emissioni dei taxi acquei, si è rivelata non idonea, poiché non comprende tutte le tipologie di imbarcazioni utilizzate nei canali di Venezia.

Quadro normativo di riferimento

Non esiste ad oggi una normativa specifica "ISM marittima" per piccole imbarcazioni. Il quadro europeo di riferimento per il monitoraggio delle emissioni in ambito navale è fondato sui seguenti atti:
- Regolamento (UE) 2015/757 (MRV – Monitoring, Reporting, Verification): definisce le modalità di monitoraggio, rendicontazione e verifica delle emissioni di gas serra generate dal trasporto marittimo;
- Regolamento (UE) 2023/957: estende il quadro MRV ad altri gas serra e a nuove tipologie di navi.

L'applicazione dei sistemi PEMS per misure in esercizio è inoltre consolidata nei settori stradali e non-road (NRMM), come confermato dal Joint Research Centre (JRC) europeo. La stima indiretta della coppia motore attraverso dati dinamici (velocità GPS, accelerazione, flusso allo scarico) è riconosciuta come valida nelle procedure ufficiali europee per i veicoli in esercizio.

Disegno delle campagne di misurazione

Nel progetto originale del monitoraggio era prevista un'unica campagna su imbarcazioni equipaggiate con le diverse tipologie di motori (Stage III, Stage V e ibrido) sia per la flotta ACTV che per quella Alilaguna. Questa prima campagna è stata realizzata tra il 17 e il 29 luglio 2025 senza l'utilizzo dell'*exhaust flow meter* (misuratore di portata dei gas di scarico), offrendo così una misura qualitativa degli inquinanti.
Successivamente, la lettura dei primi dati emersi dalla campagna sui vaporetti ACTV, che aveva riscontrato alcune criticità in fase di realizzazione, ha richiesto la realizzazione di una nuova campagna di monitoraggio, svolta tra il 23 e il 25 settembre 2025. In questa occasione, è stato integrato l'*exhaust flow meter* con la restituzione di dati quantitativi più completi.

In sintesi, sono state realizzate due campagne:

1ª campagna:
- 17-29 luglio 2025;
- senza *exhaust flow meter*;
- vaporetti ACTV: con motori Stage IIIA e Stage V;
- imbarcazioni Alilaguna: motori Stage III, Stage V e ibrido;
- calcolo dei valori di NOx/CO_2.

2ª campagna:
- 23-25 settembre 2025;
- con *exhaust flow meter*;
- vaporetti ACTV: con motori Stage IIIA e Stage V;
- calcolo dei valori di NOx.

Limitazioni operative e scelte metodologiche conseguenti

Nel corso delle campagne sono emerse alcune limitazioni operative, affrontate in coerenza con i protocolli ISM e senza compromettere la validità dei risultati:

A. **Accesso alla centralina motore (ECU)**
   Il collegamento alla centralina ECU non è stato effettuato, in quanto ritenuto potenzialmente invasivo rispetto al comportamento del sistema propulsivo. È importante sottolineare che tale collegamento non è previsto né necessario nelle metodologie ISM/PEMS: la dinamica dell'imbarcazione e il carico reale del motore vengono ricostruiti indirettamente attraverso i dati GPS, accelerometrici e di flusso allo scarico, in linea con le procedure europee consolidate e con i risultati delle campagne ISM già condotte su mezzi marittimi.
B. **Installazione del torsiometro**
   L'installazione di un torsiometro - l'unico sensore in grado di misurare la coppia motore in modo diretto - non è stata possibile in quanto avrebbe richiesto un cablaggio nella zona passeggeri, compromettendo la sicurezza dei flussi di salita e discesa durante il servizio in esercizio reale. La coppia è stata pertanto stimata indirettamente attraverso i dati di accelerazione, velocità GPS, flusso allo scarico e profilo dinamico, secondo la modalità prevista dalle procedure ufficiali europee per NRMM e veicoli in esercizio. Tale approccio è riconosciuto come valido a livello europeo e non costituisce una deviazione metodologica rispetto agli standard ISM.
C. **Limiti dello studio**
   Le campagne di monitoraggio sono state condotte su un numero limitato di imbarcazioni e in specifiche condizioni operative e ambientali. I risultati ottenuti sono pertanto rappresentativi dei casi monitorati e consentono confronti tecnici tra le configurazioni esaminate, ma non possono essere automaticamente estesi all'intera flotta lagunare senza ulteriori campagne statisticamente rappresentative.

Validità e rappresentatività dei risultati

I dati raccolti sono attendibili e rappresentativi delle condizioni di esercizio reale, per le seguenti ragioni:
- la strumentazione PEMS è certificata e installata in modo da minimizzare l'impatto sull'operatività

dell'imbarcazione e sulla circolazione dei passeggeri;
- la metodologia seguita è coerente con quanto già applicato in passato su mezzi analoghi nella stessa area lagunare, garantendo comparabilità dei risultati;
- le prove in acqua, pur non replicabili in condizioni di banco, restituiscono il profilo emissivo effettivo dei mezzi nelle condizioni di utilizzo reale, che costituisce l'obiettivo primario dello studio;
- le limitazioni operative riscontrate (ECU, torsiometro) sono pienamente compatibili con l'approccio ISM e non inficiano la solidità metodologica delle campagne.

Le campagne ISM condotte nella laguna di Venezia confermano che il metodo è pienamente applicabile ai mezzi marittimi in esercizio reale e produce risultati idonei a supportare le analisi comparative e le valutazioni di policy sviluppate nel presente Quaderno.

Prefazione

La sostenibilità dei sistemi di mobilità rappresenta oggi una delle principali direttrici di trasformazione dei sistemi economici contemporanei, collocandosi al crocevia tra transizione energetica, innovazione tecnologica e governance territoriale. In questo contesto, la mobilità non può più essere interpretata esclusivamente come funzione logistica o infrastrutturale, ma deve essere considerata come un sistema complesso che incide sulla competitività economica, sulla resilienza territoriale e sulla qualità ambientale. L'evoluzione del paradigma della mobilità è strettamente connessa alla crescente integrazione delle catene globali del valore, all'urbanizzazione accelerata e alla digitalizzazione dei sistemi produttivi. La domanda globale di trasporto è destinata ad aumentare significativamente nei prossimi decenni, con un incremento previsto dei flussi sia di merci sia di persone (World Bank, 2023; ITF, 2023). Le proiezioni dell'International Transport Forum indicano un raddoppio della domanda di trasporto merci e un aumento del 79% della mobilità passeggeri entro il 2050 rispetto ai livelli del 2015 (ITF, 2023). Tale dinamica comporta un aumento strutturale delle pressioni ambientali, rendendo necessaria una trasformazione radicale dei modelli di mobilità. La complessità della sfida risiede nella natura sistemica delle interdipendenze tra infrastrutture, tecnologie, comportamenti e regolazione, che richiedono approcci integrati e multi-scalari.

In questa prospettiva, la sostenibilità della mobilità si configura come una sfida multilivello che richiede l'allineamento tra politiche climatiche, industriali e territoriali. La letteratura istituzionale evidenzia come i sistemi di trasporto rappresentino uno dei principali ambiti in cui si gioca la capacità dei territori di adattarsi alle nuove condizioni economiche e ambientali, in particolare nelle aree ad alta densità turistica e nei contesti fragili dal punto di vista ecosistemico, come le lagune costiere.

Il presente studio dedicato alla mobilità nautica nei canali di Venezia si inserisce nelle attività dell'**Area Tematica di VSF Transizione energetica e ambiente (TEA)** che si sviluppa lungo tre linee progettuali: a) protezione dell'ambiente ed economia circolare; b) efficientamento energetico e fonti di energia rinnovabile; c) mobilità e infrastrutture sostenibili. Quest'ultimo ambito ha come focus il sostegno alla decarbonizzazione dei trasporti, incentivando soluzioni di trasporto a basso impatto ambientale, al fine di migliorare la qualità dell'aria e la sostenibilità delle infrastrutture di mobilità cittadina.

Contesto internazionale

A livello globale, il settore dei trasporti è responsabile di circa un quarto delle emissioni di CO_2 legate all'energia, come emerge dai dati dell'International Energy Agency (IEA, 2023)[2]. Questo dato riflette non solo il peso attuale del settore, ma anche la tipicità strutturale del comparto, dovuta alla lunga vita utile delle infrastrutture e dei mezzi di trasporto, nonché alla complessità delle transizioni tecnologiche richieste. Il trasporto rappresenta, inoltre, il settore con la crescita emissiva più rapida a livello globale, con un incremento del 16% delle emissioni tra il 2000 e il 2022 (IEA, 2023). La dipendenza dai combustibili fossili nel trasporto rimane superiore al 90%, evidenziando la profondità della sfida di decarbonizzazione.

Il trasporto marittimo e fluviale contribuisce per circa il 3% delle emissioni globali di gas serra (IMO, 2023), ma presenta un'intensità emissiva significativa per unità di traffico, soprattutto nei segmenti

2 https://www.iea.org/world/emissions#what-are-the-main-sources-of-global-co2-emissions

meno regolamentati, come la nautica minore e il trasporto locale. Le proiezioni indicano che, in assenza di interventi strutturali, le emissioni del settore potrebbero aumentare tra il 50% e il 250% entro il 2050 rispetto ai livelli del 2008 (IMO, 2023). La strategia adottata nel 2023 dall'International Maritime Organization (IMO) per la riduzione delle emissioni di gas serra del trasporto marittimo internazionale prevede il raggiungimento delle emissioni nette zero intorno al 2050, con obiettivi intermedi di riduzione rispetto al 2008 del 20% entro il 2030 e del 70% entro il 2040. (IMO, 2023).

Dal punto di vista sistemico, il comparto nautico si caratterizza per una serie di rigidità strutturali:

- *lock-in* tecnologico, legato alla predominanza di motori a combustione interna e alla limitata diffusione di alternative;
- barriere infrastrutturali, in particolare per quanto riguarda l'elettrificazione e l'approvvigionamento di carburanti alternativi;
- asimmetrie regolatorie, con standard meno stringenti rispetto ad altri settori dei trasporti;
- frammentazione del mercato, soprattutto nel segmento della nautica locale e turistica.

Oltre alle emissioni climalteranti, il settore genera impatti ambientali rilevanti che vanno oltre la dimensione carbonica. Gli ecosistemi marini e costieri sono soggetti a pressioni cumulative derivanti da inquinamento chimico, scarichi non trattati, rumore subacqueo e disturbo fisico degli habitat (UNEP, 2022). L'inquinamento acustico sottomarino prodotto dal traffico nautico altera i comportamenti riproduttivi e migratori della fauna marina, con effetti documentati sulla biodiversità delle aree costiere e lagunari (Williams et al., 2015; Erbe et al., 2019). Gli scarichi di idrocarburi, le vernici antivegetative per gli scafi e le microplastiche derivanti dalle attività nautiche contribuiscono, inoltre, al degrado della qualità delle acque, con ricadute sulla catena trofica e sui servizi ecosistemici.

Un elemento particolarmente critico è rappresentato dall'interazione tra mobilità nautica e sistemi ecologici fragili. Le aree costiere risultano esposte a una combinazione di rischi ambientali e climatici che ne amplificano la vulnerabilità (IPCC, 2023). Le evidenze scientifiche più recenti indicano che tali rischi si manifestano in modo sinergico, generando effetti cumulativi che superano la somma degli impatti individuali. Tra i principali fattori di pressione si annoverano:

- aumento del livello del mare e subsidenza;
- intensificazione degli eventi meteorologici estremi;
- alterazioni dei cicli biogeochimici;
- perdita di habitat e biodiversità.

In questo contesto, la mobilità nautica non rappresenta solo una fonte di impatto diretto, ma anche un fattore che amplifica la vulnerabilità sistemica degli ecosistemi. La crescente domanda di turismo costiero e lagunare contribuisce ulteriormente a intensificare tali pressioni, generando fenomeni di congestione e sovrautilizzo delle risorse naturali.

Contesto europeo

L'Unione europea ha progressivamente posto la sostenibilità dei trasporti al centro delle proprie politiche climatiche e industriali, riconoscendo la necessità di ridurre le emissioni del settore senza compromettere l'accessibilità e la competitività del sistema economico.

L'European Green Deal (European Commission, 2019) individua nella decarbonizzazione dei trasporti

una delle condizioni necessarie per il raggiungimento della neutralità climatica. La successiva Sustainable and Smart Mobility Strategy (European Commission, 2020) definisce un percorso di trasformazione attraverso 82 iniziative e 10 ambiti prioritari, con l'obiettivo di ridurre del 90% le emissioni del settore dei trasporti entro il 2050.
Il raggiungimento di questo traguardo richiede interventi complementari: innovazione delle tecnologie di propulsione, sviluppo delle infrastrutture energetiche, digitalizzazione della gestione del traffico e integrazione tra diverse modalità di trasporto.

Il pacchetto legislativo Fit for 55 (European Commission, 2021) ha introdotto ulteriori strumenti per la riduzione delle emissioni, con misure che interessano anche il comparto marittimo. Tra queste rientrano l'estensione del sistema europeo di scambio delle quote di emissione (ETS) al trasporto marittimo e il regolamento FuelEU Maritime, volto a promuovere l'utilizzo di energia a minore intensità di gas serra a bordo delle navi.

Il quadro europeo prevede dunque un progressivo rafforzamento degli strumenti di regolazione e degli incentivi all'innovazione, sebbene l'applicazione delle singole misure dipenda dalle caratteristiche e dalle dimensioni delle imbarcazioni.

Il settore dei trasporti rappresenta circa il 25% delle emissioni complessive dell'Unione europea. Nel comparto marittimo, in particolare, la riduzione delle emissioni costituisce una sfida ancora aperta, che richiede investimenti tecnologici e infrastrutturali di lungo periodo.

Una crescente attenzione è rivolta anche ai sistemi di mobilità urbana e locale, compresi quelli che utilizzano le vie d'acqua. Nelle città costiere e lagunari, infatti, le esigenze di trasporto quotidiano si intrecciano con i flussi turistici, i vincoli ambientali e la tutela del patrimonio culturale.
Questi contesti richiedono soluzioni adattate alle specificità territoriali, capaci di conciliare sostenibilità ambientale, efficienza operativa e accessibilità dei servizi. La mobilità nautica urbana rappresenta quindi un ambito nel quale le politiche europee di decarbonizzazione devono confrontarsi con esigenze operative e infrastrutturali particolarmente articolate.

Contesto italiano

In Italia, la transizione verso sistemi di mobilità più sostenibili si inserisce nel quadro definito dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC), aggiornato nel luglio 2024, e dagli investimenti previsti dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).
Il PNIEC 2024 prevede, per il settore dei trasporti, un insieme di soluzioni tecnologiche che comprende l'elettrificazione, l'impiego di biocarburanti, biometano e idrogeno e misure di contenimento della mobilità privata (MASE, 2024). L'attuazione di queste politiche deve tuttavia confrontarsi con la complessità del quadro normativo, la distribuzione delle competenze tra i diversi livelli istituzionali e i tempi necessari per il rinnovo dei mezzi e delle infrastrutture.

La rilevanza di questi interventi emerge anche dall'andamento delle emissioni nazionali. Secondo ISPRA (2025), il settore dei trasporti è responsabile di oltre un quarto delle emissioni complessive di gas serra, con un incremento superiore al 10% rispetto al 1990. Oltre il 90% delle emissioni del comparto è attribuibile al trasporto stradale. Nello stesso periodo, le emissioni complessive nazionali si sono invece ridotte di circa il 30%, evidenziando la necessità di rafforzare gli interventi nel settore

della mobilità.

All'interno di questo quadro, la nautica riveste un ruolo importante non soltanto dal punto di vista ambientale, ma anche economico e industriale. Nel 2024 l'industria nautica da diporto italiana ha registrato un fatturato di 8,60 miliardi di euro, in crescita del 3,2% rispetto all'anno precedente, con un contributo al prodotto interno lordo di 7,40 miliardi di euro e oltre 31.000 occupati diretti (Confindustria Nautica, 2025). L'Italia si conferma inoltre il primo Paese esportatore a livello mondiale nella cantieristica nautica, con una quota prossima al 25% delle esportazioni globali del settore.
La transizione tecnologica della nautica rappresenta quindi una sfida che riguarda tanto la sostenibilità ambientale quanto la competitività industriale, con opportunità di innovazione per costruttori, operatori e filiere produttive.
Alle potenzialità economiche del comparto si affiancano tuttavia impatti ambientali significativi. Secondo l'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera (ISPRA, 2025), le attività marittime contribuiscono per il 27,2% alle emissioni di ossidi di azoto (NOx) del settore dei trasporti, che nel suo complesso è responsabile di circa il 58% delle emissioni nazionali di questo inquinante. Il comparto marittimo rappresenta inoltre il 35,1% delle emissioni di particolato fine (PM2.5) del settore dei trasporti e l'88,6% di quelle di ossidi di zolfo (SOx).
Queste pressioni assumono particolare rilevanza nelle aree portuali e nei centri urbani costieri. In alcuni contesti, tra cui Venezia, è stata rilevata una tendenza all'aumento delle emissioni portuali di NOx (Kyoto Club e CNR-IIA, 2024). Alle emissioni atmosferiche si aggiungono gli effetti sull'ambiente acquatico, dovuti a scarichi, idrocarburi, rivestimenti antivegetativi e inquinamento acustico subacqueo.

Le caratteristiche geografiche ed economiche dell'Italia rendono il tema particolarmente importante. Il Paese dispone di oltre 8.000 km di coste, numerosi sistemi lagunari e una forte concentrazione di attività turistiche ed economiche nelle aree litoranee. Questi territori sono esposti a pressioni ambientali che comprendono erosione costiera, inquinamento, perdita di biodiversità, urbanizzazione e consumo di suolo (ISPRA, 2023).
Nei sistemi lagunari, tali fenomeni sono accentuati dalla complessità delle dinamiche idrodinamiche e dalla concentrazione delle attività umane. La laguna di Venezia rappresenta un caso particolarmente significativo, poiché la mobilità nautica costituisce una funzione indispensabile per il sistema urbano, ma contribuisce anche alle pressioni sull'ambiente.
Tra le principali criticità legate alla navigazione veneziana rientrano il moto ondoso indotto, con effetti sull'erosione delle fondamenta e delle barene, le emissioni atmosferiche e l'inquinamento delle acque, la congestione del traffico nei canali interni e la gradualità del rinnovo tecnologico, soprattutto nei segmenti privato e commerciale.
Nel trasporto pubblico sono già state avviate iniziative di innovazione, tra cui la sperimentazione di un vaporetto ibrido da parte di ACTV. Rimane tuttavia necessario rafforzare il collegamento tra gli obiettivi di sostenibilità e gli interventi concretamente attuabili, tenendo conto delle caratteristiche dei diversi servizi e delle esigenze degli operatori.
In questa prospettiva, la disponibilità di dati sulle emissioni prodotte dalle imbarcazioni durante il normale esercizio costituisce uno strumento importante per orientare il rinnovo della flotta e valutare l'efficacia delle tecnologie disponibili.
La ricerca sulla mobilità nautica veneziana si inserisce in questo percorso, contribuendo a costruire una base conoscitiva utile a supportare le decisioni pubbliche e gli investimenti necessari alla progressiva riduzione dell'impatto ambientale della navigazione, in coerenza con gli obiettivi nazionali ed europei di sostenibilità.

1. Il caso Venezia

1.1 Inquadramento generale

La città di Venezia rappresenta un *unicum* a livello internazionale per quanto riguarda i sistemi di mobilità urbana, configurandosi come uno dei pochi contesti metropolitani in cui la mobilità via acqua costituisce la modalità prevalente di trasporto. Questo elemento strutturale non è solo una peculiarità culturale e storica, ma rappresenta un vincolo operativo e infrastrutturale che condiziona profondamente il funzionamento economico e sociale della città.

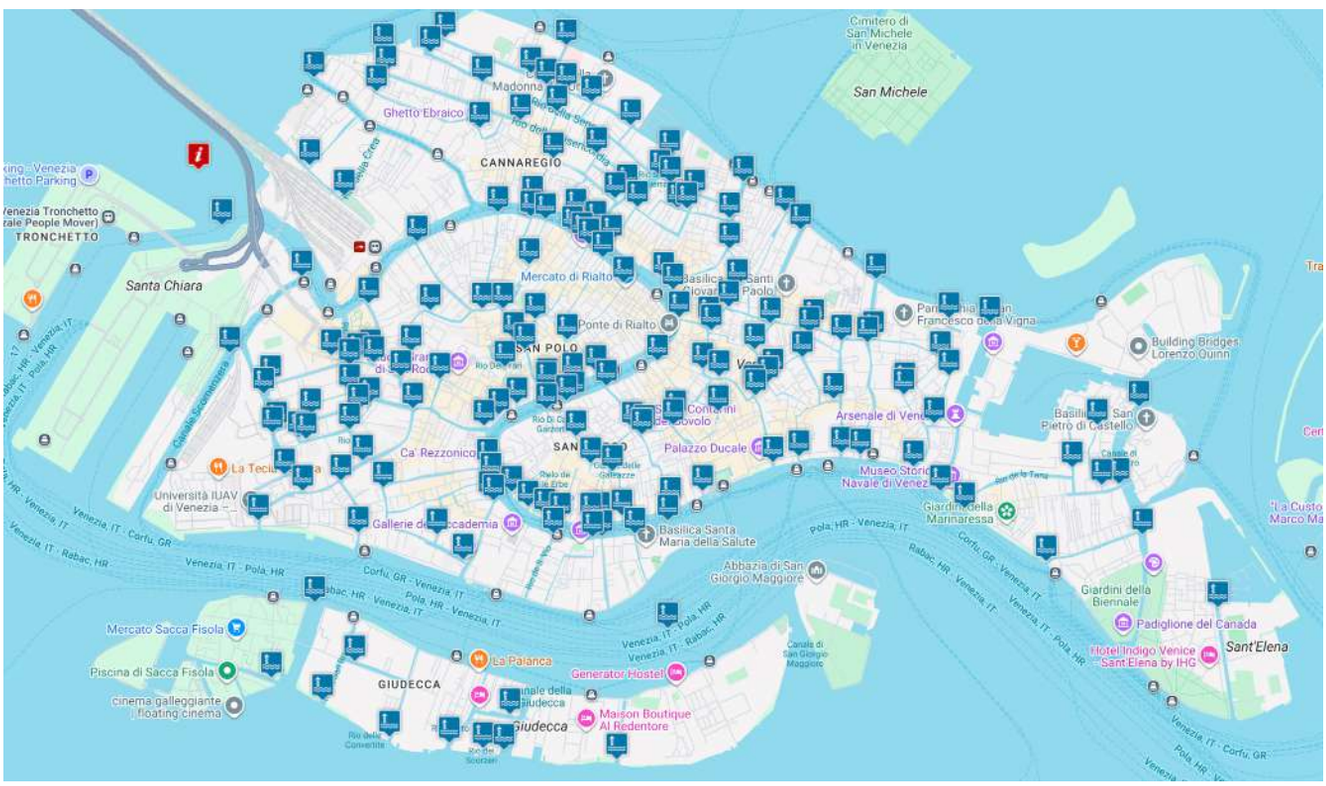


Figura 1 *- Mappa dei canali e dei rii di Venezia*

L'intero sistema di mobilità del centro storico si basa su una rete articolata di canali navigabili che supportano il trasporto pubblico locale, il trasporto merci, i servizi essenziali e una vasta gamma di attività private e turistiche (Comune di Venezia, 2023). Il sistema è composto da circa 150 canali e 400 ponti, con una rete navigabile che si estende per oltre 40 km all'interno del centro storico. Tale assetto è caratterizzato da un'elevata intensità d'uso e da una compresenza di diverse tipologie di traffico, che includono vaporetti, taxi acquei, imbarcazioni da diporto, mezzi per la logistica urbana e servizi pubblici. Si stima che quotidianamente operino nel centro storico oltre 500 imbarcazioni a motore per il solo trasporto pubblico e commerciale, cui si aggiungono centinaia di mezzi privati e turistici.

A questa complessità si aggiunge una pressione turistica estremamente elevata. Venezia registra ogni anno circa 30 milioni di presenze turistiche nell'area metropolitana, con picchi giornalieri che possono superare le 100.000 unità nel centro storico (ISTAT, 2023; Ministero del Turismo, 2023). Questo

flusso si traduce in un'elevata domanda di mobilità nautica, contribuendo a un utilizzo estremamente intensivo della rete lagunare. L'impatto del turismo sulla mobilità acquea è particolarmente accentuato nei mesi estivi, quando la domanda di trasporto può triplicare rispetto ai periodi di bassa stagione, generando fenomeni di congestione e sovraccarico delle imbarcazioni e dei canali di navigazione.

In tutto questo è opportuno non dimenticare che la laguna di Venezia è riconosciuta come sito patrimonio mondiale dell'UNESCO, la cui conservazione richiede un equilibrio delicato tra attività antropiche e salvaguardia dell'ecosistema, rendendo la gestione della mobilità un tema strategico (UNESCO, 2025). Il rapporto sullo stato di conservazione del sito ha ripetutamente segnalato come le pressioni derivanti dal traffico nautico, dall'*overtourism* e dalle alterazioni idrodinamiche rappresentino minacce concrete per l'integrità del patrimonio. La designazione come patrimonio mondiale impone, pertanto, obblighi specifici in materia di protezione ambientale e gestione sostenibile delle attività economiche.

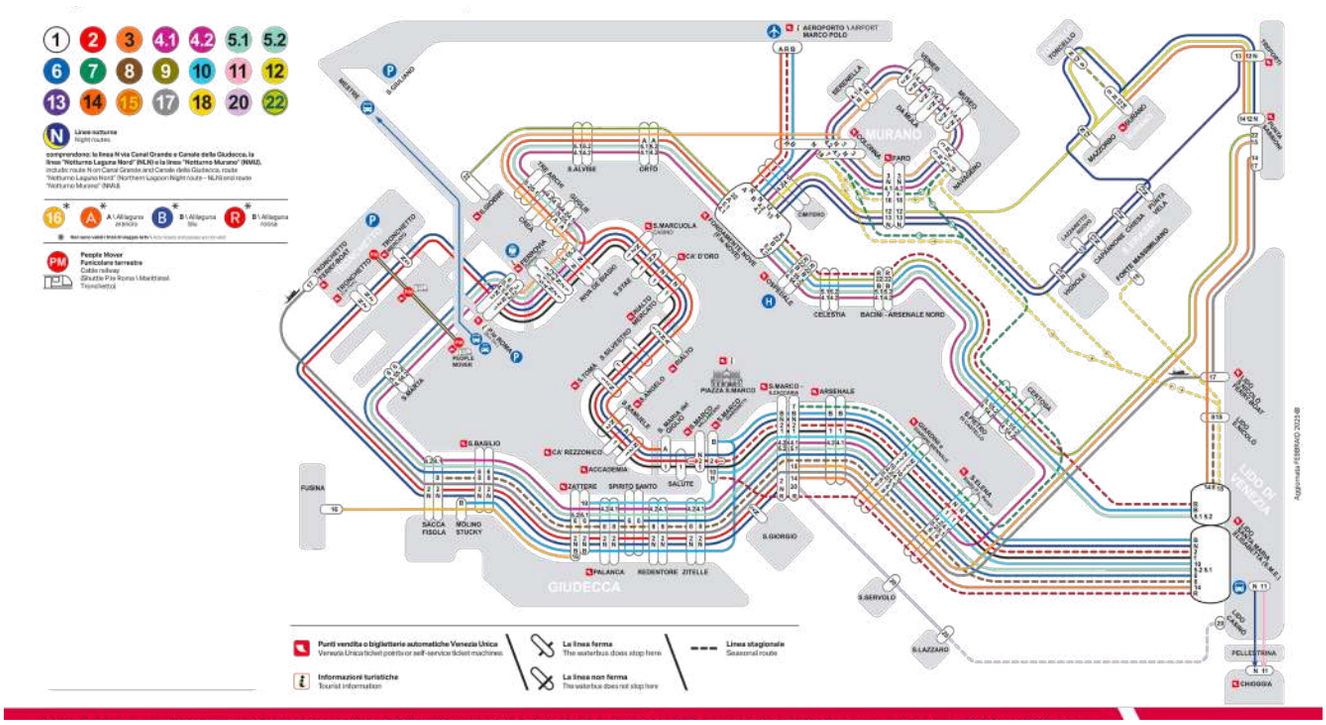


Figura 2 *- Mappa delle linee di navigazione ACTV*

1.2 Le questioni strutturali e ambientali

Il sistema di mobilità nautica veneziano genera una serie di criticità che si collocano all'intersezione tra impatti ambientali, questioni operative e tematiche socio-economiche.
Tra le principali criticità ambientali si colloca il moto ondoso prodotto dal transito intenso e veloce delle imbarcazioni, che le ricerche condotte sul sistema lagunare individuano quale uno dei principali fattori di alterazione morfologica della laguna, distinto per intensità ed effetti da quello generato dal vento e dalle maree (ad esempio: Rapaglia et al., 2011; Scarpa et al., 2019)[3]. Il fenomeno concorre all'erosione dei bassifondi e dei margini barenali[4], ulteriormente amplificata nei canali interni

3 https://www.nature.com/articles/s41598-019-55238-z
4 Le barene sono formazioni tipiche degli ambienti lagunari (il caso più noto è la laguna di Venezia): piccole isole o dossi di terreno fangoso-sabbioso che emergono appena sopra il livello medio dell'acqua, sommerse solo dalle maree più alte

dalla riflessione delle onde contro le sponde, e incide sulla stabilità delle fondamenta degli edifici prospicienti le vie d'acqua.
Un secondo elemento critico riguarda l'inquinamento sia atmosferico che acustico. Una quota rilevante delle emissioni locali di ossidi di azoto (NOx) e particolato fine (PM10 e PM2.5) è attribuibile al traffico nautico, in particolare ai motori diesel di vecchia generazione (ARPAV, 2023). Le concentrazioni di NO_2 nelle aree prossime ai canali a maggiore traffico possono superare i valori limite fissati dalla normativa europea, con picchi significativi nelle ore di punta del trasporto merci e passeggeri. Il particolato fine generato dalla combustione diesel nei motori marini presenta, inoltre, una composizione chimica particolarmente nociva, con elevate concentrazioni di carbonio elementare e idrocarburi policiclici aromatici. Tali emissioni hanno impatti diretti sulla qualità dell'aria e sulla salute pubblica, soprattutto nelle aree a maggiore concentrazione di traffico.

Dal punto di vista dell'inquinamento delle acque, il sistema lagunare risente della presenza di idrocarburi, metalli pesanti e sostanze inquinanti derivanti dalle attività nautiche. La qualità delle acque lagunari è influenzata sia dagli scarichi urbani sia dalle attività di navigazione, con effetti documentati sulla biodiversità e sugli equilibri ecologici (ISPRA, 2023). Le analisi chimiche condotte sui sedimenti dei canali principali hanno rilevato concentrazioni di idrocarburi policiclici aromatici (IPA), rame e zinco superiori ai valori di riferimento per la qualità dei sedimenti marini, con una correlazione significativa tra intensità del traffico nautico e livelli di contaminazione. Le vernici antivegetative a base di rame, ancora largamente utilizzate sugli scafi, rappresentano una fonte diffusa di inquinamento che incide sulla qualità delle acque e sulla vitalità degli organismi bentonici.

Un ulteriore problema riguarda la congestione del traffico nautico. Alcune aree, in particolare il Canal Grande, principale "strada" della città per quanto riguarda il trasporto interno, e i canali navigabili di accesso allo stesso, sono soggette a livelli elevati di traffico, con conseguenti problemi di sicurezza, efficienza e qualità del servizio. La compresenza di diverse tipologie di imbarcazioni, con caratteristiche e velocità differenti, aumenta la complessità della gestione del traffico. I dati di monitoraggio del 2023 del Comune di Venezia[5] indicano che nel Canal Grande transitano in media oltre 20.000 imbarcazioni al giorno nei periodi di picco, con una densità di traffico che compromette la sicurezza della navigazione e genera conflitti tra le diverse categorie di utenti. L'assenza di un sistema integrato di gestione del traffico nautico rende ancora più significative queste criticità.

Dal punto di vista del trasporto merci, la logistica urbana veneziana presenta alcune sfide legate alla mancanza di coordinamento tra attori, alla dimensione ridotta delle imbarcazioni e alla scarsa integrazione con sistemi logistici avanzati (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2023). La flotta destinata al trasporto merci è in larga parte composta da imbarcazioni con motorizzazioni datate, con un'età media superiore ai 20 anni, che contribuiscono in misura significativa alle emissioni inquinanti complessive.

Infine, un elemento strutturale riguarda una transizione tecnologica ancora troppo lenta rispetto alle esigenze del contesto. Nonostante alcune sperimentazioni nel trasporto pubblico, la maggior parte

---

e scoperte per la maggior parte del tempo. Sono coperte da vegetazione alofila, cioè piante che tollerano l'alta salinità (come la salicornia), e si formano per accumulo di sedimenti trasportati dalle correnti di marea e dai fiumi, spesso stabilizzati proprio dalle radici di queste piante. Hanno un ruolo ecologico importante: ospitano uccelli acquatici e altre specie, contribuiscono a dissipare l'energia delle onde e delle maree proteggendo la costa, e regolano il ricambio idrico della laguna. Sono anche molto fragili: l'erosione, il moto ondoso causato dal traffico acqueo e l'innalzamento del livello del mare le stanno facendo progressivamente ridurre, tanto che a Venezia sono oggetto di specifici interventi di tutela e ripristino.

5 https://www.comune.venezia.it/pums

della flotta nautica privata e commerciale continua a utilizzare tecnologie di propulsione tradizionali e datate. Questo ritardo è dovuto a fattori economici, normativi e infrastrutturali, tra cui l'assenza di una rete diffusa per la ricarica elettrica e la difficoltà di riconvertire le imbarcazioni esistenti[6].

A fronte delle richiamate difficoltà dal punto di vista ambientale e strutturale, che configurano il contesto lagunare veneziano come uno spazio urbano in cui non è possibile applicare in modo automatico le soluzioni sulla propulsione utilizzate in altri contesti marini o lacustri, è opportuno richiamare anche gli elementi che, viceversa, costituiscono punti di forza nella prospettiva di migliorare l'impatto complessivo della mobilità nautica.

A. Elevata integrazione funzionale tra mobilità e struttura urbana

Il sistema di mobilità nautica veneziano rappresenta uno dei pochi casi a livello globale in cui la rete di trasporto è completamente integrata con la morfologia urbana. I canali non costituiscono un'infrastruttura aggiuntiva, ma l'ossatura primaria della città, su cui si innestano la maggior parte delle funzioni economiche e sociali. Questa configurazione genera un modello di mobilità intrinsecamente multimodale e adattivo, in cui trasporto passeggeri, logistica urbana e servizi pubblici condividono la stessa rete infrastrutturale. Dal punto di vista sistemico, ciò consente un elevato livello di prossimità funzionale tra origine e destinazione degli spostamenti, riducendo la necessità di infrastrutture pesanti e limitando il consumo di suolo, in linea con i principi della letteratura sul *compact city model* (OECD, 2012).

B. Potenziale di decarbonizzazione relativamente elevato

Il sistema presenta un elevato potenziale di transizione verso modelli *low-carbon*, superiore rispetto a molte città terrestri. La natura confinata e tracciabile della rete lagunare facilita infatti:

- il monitoraggio dei flussi;
- l'introduzione di regolazioni mirate;
- la sperimentazione di tecnologie innovative a basse o nulle emissioni (propulsione elettrica, sistemi ibridi diesel-elettrico, idrogeno).

A differenza del trasporto stradale diffuso, il sistema veneziano è caratterizzato da una maggiore controllabilità operativa, che lo rende un contesto ideale per implementare politiche di decarbonizzazione basate su approcci *place-based* e pilota (European Commission, 2020). Questo elemento permette di configurare Venezia come un vero e proprio *living lab* per la mobilità sostenibile su acqua.

C. Efficienza energetica intrinseca del trasporto via acqua

Il trasporto via acqua, per sua natura fisica, presenta livelli di efficienza energetica superiori rispetto ad altre modalità, in particolare per il trasporto di merci. La minore resistenza al movimento rispetto al trasporto terrestre consente, a parità di carico, consumi energetici inferiori. Nel contesto veneziano, questa caratteristica si traduce in un sistema che, se ottimizzato, può garantire una riduzione significativa dell'intensità energetica per unità trasportata, coerentemente con i risultati evidenziati dalla letteratura sul *freight waterborne transport efficiency* (IEA 2025, ITF 2022). Questo aspetto assume particolare importanza per la logistica urbana, ossia il sistema di trasporto e consegna delle merci all'interno della città. Una migliore organizzazione di questi flussi consentirebbe di ridurre gli attuali sprechi e disservizi, trasformandoli in un beneficio ambientale e, al tempo stesso, in un elemento di valore per il territorio.

6 https://transport.ec.europa.eu/document/download/73447373-de2a-4ba4-9371-36d1186035d4_en

D. Elevata adattabilità e resilienza

Il sistema di mobilità nautica veneziano ha dimostrato nel tempo una notevole capacità di adattamento a condizioni complesse, sia dal punto di vista ambientale sia socio-economico. La flessibilità operativa delle imbarcazioni consente una gestione dinamica dei flussi, adattabile a:

- variazioni della domanda (es. turismo stagionale);
- condizioni meteo-climatiche;
- eventi eccezionali.

Questa caratteristica è coerente con i principi dei *resilient transport systems*, in cui la diversificazione degli usi della rete e la modularità dei mezzi rappresentano fattori chiave di resilienza (IPCC, 2023). In un contesto di cambiamento climatico e crescente incertezza, tale flessibilità costituisce un *asset* strategico.

1.3 Le sfide per rendere più efficiente l'operatività della mobilità lagunare

Alla luce delle criticità evidenziate, ma anche dei punti di forza tipici del sistema lagunare, è possibile soffermarsi su una serie di sfide strategiche che richiedono un approccio integrato e multidisciplinare. La prima sfida riguarda la decarbonizzazione della mobilità nautica, in linea con gli obiettivi europei e nazionali. Ciò implica la necessità di sviluppare e diffondere tecnologie a basse emissioni, come la propulsione elettrica, ibrida o basata su carburanti alternativi, tenendo conto delle specificità del contesto lagunare.

La seconda riguarda la gestione dei flussi di traffico, che richiede l'adozione di strumenti avanzati di monitoraggio e regolazione, anche attraverso l'utilizzo di tecnologie digitali e sistemi di gestione intelligente del traffico. Alcune iniziative per il controllo e la regolazione degli accessi sono state avviate, ma il sistema presenta ancora margini significativi di miglioramento (Comune di Venezia, 2023). L'adozione di sistemi AIS (Automatic Identification System) per il monitoraggio in tempo reale, l'implementazione di limiti di velocità dinamici e la creazione di zone a traffico limitato nautico rappresentano strumenti potenzialmente efficaci, la cui applicazione sistematica richiede tuttavia investimenti infrastrutturali e capacità di *enforcement* adeguate.

Un terzo ambito di intervento riguarda la logistica urbana sostenibile, che richiede la riorganizzazione del trasporto merci in chiave più efficiente e meno impattante. È necessario sviluppare modelli innovativi, basati su piattaforme di consolidamento e sull'ottimizzazione dei flussi (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2023)[7]. L'attuale frammentazione della logistica urbana veneziana, caratterizzata da una molteplicità di operatori non coordinati e da mezzi spesso sovra- o sotto-dimensionati, genera inefficienze significative in termini di costi economici e ambientali. L'adozione di centri di consolidamento merci, sistemi di prenotazione digitale degli slot di consegna e l'integrazione con piattaforme logistiche intelligenti rappresentano direzioni strategiche per la riorganizzazione del settore.

Infine, dal punto di vista istituzionale, emerge, come quarto elemento da affrontare, la necessità di rafforzare la governance multilivello, coordinando gli interventi tra livello locale, regionale, nazionale ed europeo. La complessità del sistema veneziano richiede infatti un approccio integrato che tenga conto delle interazioni tra mobilità, ambiente, sviluppo economico e altre funzioni urbane.

7 https://www.mit.gov.it/node/18857

2. Monitoraggio delle emissioni in esercizio reale nella laguna di Venezia. Analisi comparativa delle emissioni di NOx prodotte da diverse configurazioni motoristiche

2.1 La ricerca: obiettivi e contesto

Il presente studio - realizzato da VSF con il supporto scientifico, tecnico e operativo di AVL Italia, Sanlorenzo, PwC e con quello di Alilaguna e Comune di Venezia (ACTV, AVM) che hanno messo a disposizione la propria flotta per il monitoraggio delle emissioni e condiviso le principali problematiche e soluzioni adottate - si propone di quantificare in modo rigoroso l'inquinamento di ossidi di azoto (NOx) generato dai motori nautici, considerando le diverse tipologie di imbarcazioni operanti nel contesto lagunare veneziano, e di stimarne l'impatto complessivo a scala urbana. L'obiettivo è costruire una base dati empirica che consenta di comprendere non solo il contributo emissivo delle singole categorie di mezzi, ma anche gli effetti aggregati sul sistema ambientale della città, fornendo così elementi utili a supporto delle politiche pubbliche e delle scelte degli operatori.

In questa prospettiva, una prima linea di analisi riguarda la stima dell'inquinamento complessivo associato al traffico nautico nella laguna di Venezia. Tale valutazione viene sviluppata attraverso l'integrazione di dati di monitoraggio e modelli di emissione, con l'obiettivo di restituire una quantificazione sistemica delle pressioni ambientali generate dal settore. Questo passaggio consente di delineare un quadro di riferimento sullo stato attuale, a favore degli interventi di pianificazione o regolazione. Parallelamente, lo studio sviluppa un'analisi comparativa tra differenti standard tecnologici dei motori, concentrandosi in particolare sul confronto tra motorizzazioni Stage IIIA e Stage V nel contesto del trasporto pubblico locale (ACTV). Tale confronto permette di valutare in modo concreto l'efficacia del progresso tecnologico incrementale in termini di riduzione delle emissioni e di miglioramento delle performance ambientali. L'analisi si estende inoltre alla valutazione delle soluzioni più avanzate in termini di transizione energetica, attraverso il confronto tra motorizzazioni Stage V e sistemi full hybrid adottati, ad esempio, nel servizio di navigazione lagunare di Alilaguna. Anche in questo caso, la possibilità di disporre di dati empirici rilevati con specifiche misurazioni consente di stimare il potenziale di abbattimento delle emissioni associato a configurazioni tecnologiche ibride, offrendo indicazioni utili per la definizione di possibili scenari evolutivi della mobilità nautica.

Nel complesso, l'articolazione dello studio prevede di realizzare una fotografia dello stato attuale delle emissioni del trasporto di persone e una valutazione comparativa delle principali traiettorie di innovazione tecnologica, mantenendo un approccio fondato su evidenze empiriche e orientato al supporto dei processi decisionali. Si tratta di un'analisi ancora parziale, non coinvolgendo tutte le tipologie di imbarcazioni utilizzate nei canali di Venezia.
Il presente studio si inserisce in un contesto caratterizzato da un lato da un sistema di mobilità passeggeri sovraccarico, condizione acuita dall'esplosione del turismo negli ultimi anni, e dall'altro dalla presenza di un sistema di trasporto merci e persone via acqua, che si inserisce in un contesto urbano unico, come quello veneziano.
Sul fronte della sostenibilità, alcuni progressi sono già stati compiuti: ACTV ha avviato nel 2025 una sperimentazione sulla messa in uso di vaporetti a propulsione ibrida diesel-elettrico (ne sono previsti 13 entro il 2027), mentre Alilaguna dal 2010 utilizza imbarcazioni con motore ibrido a propulsione

elettrica (8 barche) e ha introdotto un primo mezzo ibrido a idrogeno. Queste innovazioni richiedono non soltanto l'adattamento delle imbarcazioni esistenti, ma anche la formazione degli equipaggi, chiamati a operare in condizioni di traffico intenso, con fermate frequenti e continue variazioni di velocità. In prospettiva, potrebbe inoltre rendersi necessario ripensare il layout delle carene.
Tali avanzamenti riguardano tuttavia principalmente il trasporto pubblico di persone, mentre il trasporto privato (taxi) e il trasporto merci presentano ancora significativi margini di miglioramento.

2.2 Gli strumenti di misurazione

La quantificazione delle emissioni prodotte dalla navigazione lagunare veneziana rappresenta una delle sfide analitiche più rilevanti nell'ambito della ricerca sulla mobilità urbana sostenibile. La specificità del contesto - un sistema di trasporto pubblico e commerciale interamente fondato sulla navigazione acquea, operante in un ecosistema di eccezionale fragilità ambientale e soggetto a vincoli di tutela UNESCO - rende particolarmente urgente disporre di dati empirici solidi e rappresentativi delle condizioni reali di esercizio, superando i limiti strutturali delle prove in condizioni standardizzate di laboratorio.

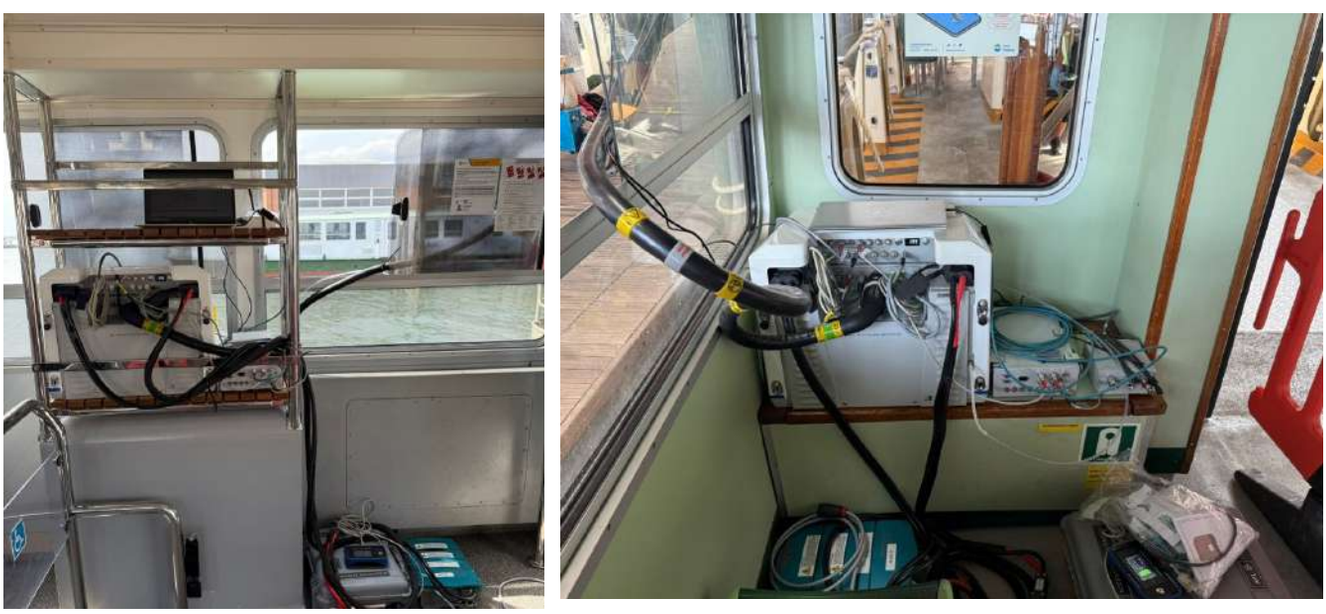


Figura 3 *- Installazione degli strumenti di rilevazione sulle imbarcazioni ACTV*

Le campagne di monitoraggio condotte da AVL nel 2025 (prima campagna in luglio, seconda in settembre) rispondono a questa esigenza attraverso l'applicazione della metodologia PEMS (Portable Emissions Measurement System), consolidata a livello europeo nei settori automotive, industriale e marittimo. Il PEMS consente la misurazione diretta delle emissioni a bordo dell'imbarcazione durante la normale operatività in servizio, incorporando tutte le variabili operative proprie del contesto lagunare: variazioni del carico passeggeri, correnti e moto ondoso, manovre di accosto e ripartenza alle fermate, traffico acqueo e variabilità idrodinamica. Queste variabili, sistematicamente assenti nelle prove al banco motore, determinano profili di carico reale che si discostano in misura significativa dalle condizioni standardizzate di omologazione, rendendo i dati PEMS intrinsecamente più informativi ai fini della valutazione dell'impatto ambientale effettivo della navigazione lagunare.
Le campagne hanno coinvolto due operatori del trasporto pubblico lagunare - ACTV e Alilaguna - con flotte caratterizzate da composizioni tecnologiche differenti e profili operativi distinti.

Nel caso di ACTV, l'analisi ha riguardato due generazioni motoristiche rappresentate nell'attuale flotta di vaporetti: motori conformi allo standard emissivo Stage IIIA e motori di nuova generazione Stage V. Nel caso di Alilaguna, il confronto ha coinvolto un motore Stage III, un motore Stage V e un sistema ibrido, applicati alla navigazione su percorsi lagunari di maggiore lunghezza e velocità rispetto ai tragitti urbani interni di ACTV. I due casi, pur condividendo la medesima impostazione metodologica e lo stesso operatore tecnico, si distinguono per tipologia di imbarcazione, profilo operativo, lunghezza dei percorsi e caratteristiche degli standard di emissione considerati, e devono pertanto essere analizzati tenendo conto di queste differenze di contesto.

Sul piano normativo, le campagne si inseriscono in un quadro di riferimento ancora parzialmente definito. Il Codice internazionale di gestione della sicurezza (International Safety Management) è lo standard internazionale che disciplina la gestione sicura delle imbarcazioni e la prevenzione dell'inquinamento, definendo procedure e responsabilità per chi le opera; ad oggi non esiste però una sua declinazione specifica per le piccole imbarcazioni adibite al trasporto pubblico lagunare. Sul fronte delle emissioni, il Regolamento (UE) 2015/757 e il successivo Regolamento (UE) 2023/957 stabiliscono le modalità di monitoraggio, rendicontazione e verifica delle emissioni di gas serra nel trasporto marittimo; la loro applicazione alle imbarcazioni di piccole dimensioni operanti in contesti lagunari resta tuttavia ancora da definire sotto il profilo metodologico.
Le campagne AVL-ACTV e AVL-Alilaguna si configurano pertanto non solo come strumenti di valutazione tecnica, ma anche come contributo alla riflessione scientifica sul tema oggetto del presente documento.

2.3 Il caso ACTV: confronto tra Stage IIIA, Stage V

2.3.1 Disegno della campagna e condizioni operative

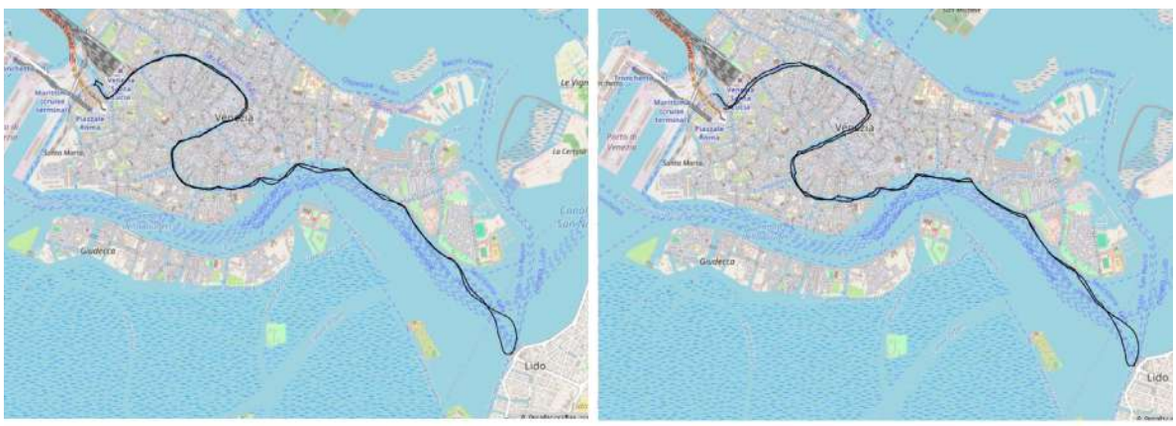
Il monitoraggio condotto sulla flotta ACTV ha visto lo sviluppo di una prova, che è stata realizzata in due diverse campagne (a luglio e a settembre 2025), lungo un tracciato lagunare che comprende il Canal Grande, il Canale della Giudecca e i tratti di laguna prospicienti il Lido. Il percorso è rappresentativo delle linee di forza del trasporto pubblico acqueo veneziano e incorpora tutte le principali tipologie operative che caratterizzano il servizio:

- navigazione in canale stretto ad alta densità di traffico;
- tratti in laguna aperta;
- accelerazioni e decelerazioni in corrispondenza delle numerose fermate;
- manovre di accosto ai pontili.

La lunghezza del tracciato si attesta intorno ai 14 km per entrambe le campagne, con durate di navigazione comprese tra 8.100 e 8.500 secondi.

La prima campagna ha coinvolto i vaporetti dotati di motorizzazioni Stage IIIA e Stage V, ossia le due generazioni di motori oggi più diffuse nella flotta ACTV, con l'obiettivo di misurare la differenza di emissioni tra di esse. Per ottenere un confronto attendibile, le prove sono state condotte in condizioni il più possibile uniformi e tipiche di un normale tragitto con fermate lungo il Canal Grande: a bordo di ciascuna imbarcazione erano presenti dai 40 ai 50 passeggeri, sono state utilizzate le stesse imbarcazioni in entrambe le sessioni di misura e le condizioni ambientali sono state mantenute analoghe. Questa standardizzazione consente di attribuire le differenze rilevate alla sola tecnologia del motore, escludendo l'influenza di fattori esterni.

La standardizzazione del carico passeggeri riveste un'importanza metodologica non trascurabile, poiché il peso totale a bordo influenza direttamente la resistenza idrodinamica dell'imbarcazione e, di conseguenza, il carico richiesto al motore: senza questo controllo, differenze nel numero di passeggeri altererebbero sistematicamente il profilo emissivo comparato. Le velocità medie registrate nelle due prove della prima campagna risultano quasi identiche - 6,10 km/h per lo Stage IIIA e 6,13 km/h per lo Stage V - confermando l'equivalenza operativa delle due prove e la solidità del disegno comparativo.



STAGE III A		
Durata	Distanza	Vel. Media
8306 s	14,40 Km	6,10 Km/h

STAGE V		
Durata	Distanza	Vel. Media
8220 s	14,01 Km	6,13 Km/h

Figura 4 *- Percorso 1ª campagna di rilevazione ACTV*

Anche nella seconda campagna, realizzata a settembre, con l'utilizzo dell'*exhaust flow meter*, sono state assicurate condizioni uniformi in termini di tipologia di imbarcazione, percorso e distanza (Linea 1, Canal Grande con fermate e circa 14 km) e presenza di passeggeri a bordo, realizzando la misurazione nel corso di un normale servizio di trasporto persone con diverse fermate per la salita e la discesa. La velocità sia per il motore Stage IIIA che per quello Stage V è stata di circa 6,16 km/h.



STAGE III A		
Durata	Distanza	Vel. Media
8104 s	13,92 Km	6,18 Km/h

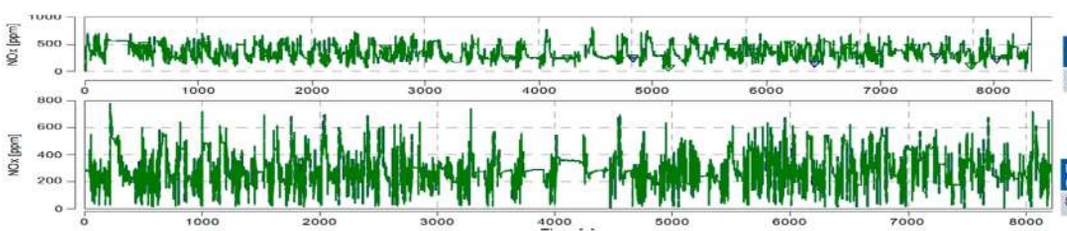
STAGE V		
Durata	Distanza	Vel. Media
8214 s	14,05 Km	6,16 Km/h

Figura 5 *- Percorso 2ª campagna di rilevazione ACTV*

2.3.2 Risultati emissivi di ACTV nella prima campagna: differenza tra Stage IIIA e Stage V

I dati emissivi della prima campagna, acquisiti attraverso analizzatori gas senza *exhaust flow meter* - e quindi riferiti a indicatori relativi piuttosto che a masse assolute - mostrano un differenziale emissivo chiaro e statisticamente consistente tra Stage IIIA e Stage V. Il picco di concentrazione di NOx registrato dallo Stage IIIA è pari a 884,745 ppm, contro gli 808,794 ppm dello Stage V, con una riduzione dell'8,6%. Il rapporto NOx/CO_2 medio - indicatore che normalizza le emissioni di ossidi di azoto rispetto alla CO_2 prodotta, approssimando così il contributo emissivo per unità di energia liberata dalla combustione - risulta pari a 0,01130 per lo Stage IIIA e a 0,00993 per lo Stage V, con una riduzione del 12,1%. Il dato più significativo è rappresentato dalla somma cumulata del rapporto NOx/CO_2 lungo l'intera durata della prova: 939,01 per lo Stage IIIA contro 816,81 per lo Stage V, con una riduzione del 13,0%.

L'analisi dei profili temporali di emissione di NOx consente di apprezzare non solo i differenziali medi, ma anche la diversa dinamica emissiva dei due sistemi. Lo Stage IIIA presenta un profilo relativamente compatto e uniforme nel tempo, con concentrazioni che si mantengono in larga misura nella fascia 300-600 ppm e picchi che raggiungono i valori massimi in corrispondenza delle fasi di accelerazione. Lo Stage V mostra invece una variabilità più accentuata, con oscillazioni più frequenti tra valori bassi e picchi elevati, ma con una concentrazione media inferiore. Questo pattern suggerisce che il sistema di post-trattamento dei gas di scarico dello Stage V - che incorpora sistemi catalitici di riduzione selettiva delle emissioni di NOx assenti o meno sviluppati nello Stage IIIA - tende a operare in modo dinamico in funzione delle condizioni operative istantanee, con una maggiore reattività alle variazioni di carico ma anche con intervalli di efficienza più discontinua.



STAGE IIIA

NOx max (ppm)	NOx/CO2 medio	NOx/CO2 somma
884,745	0,01130	939,01162

STAGE V

NOx max (ppm)	NOx/CO2 medio	NOx/CO2 somma
808,794	0,00993	816,81006

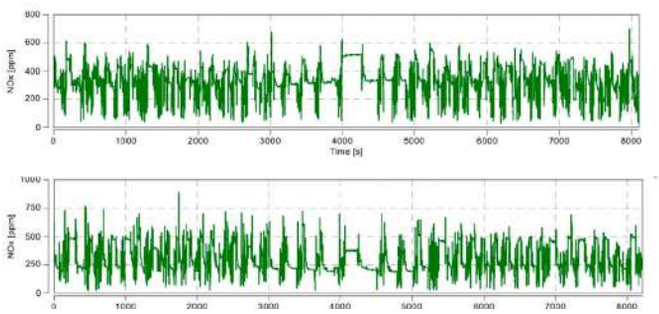
Figura 6 *- Trend di emissioni di NOx 1ª campagna ACTV*

2.3.3 Risultati emissivi della seconda campagna ACTV con l'exhaust flow meter

La seconda campagna introduce una dimensione analitica aggiuntiva di considerevole rilievo, resa possibile dall'integrazione dell'*exhaust flow meter*: la quantificazione della massa assoluta di NOx emessa nel corso di ciascuna prova, espressa in grammi, contestualizzata dal flusso di massa di scarico in chilogrammi e dal consumo di carburante. Questo approccio consente di superare i limiti degli indicatori relativi utilizzati nella prima campagna e di fornire una stima dell'impatto emissivo aggregato dell'intero viaggio, direttamente utilizzabile per calcoli di inventario delle emissioni a scala di flotta o di rete di trasporto.

Il confronto tra Stage IIIA e Stage V nella seconda campagna conferma e amplifica il differenziale già osservato nella prima. Lo Stage V registra emissioni totali di NOx pari a 334,23 g, contro i 508,87 g dello Stage IIIA, con una riduzione del 34,3%. Il consumo di carburante dello Stage V risulta di

14,66 kg contro i 25,89 kg dello Stage IIIA - una riduzione del 43,4% - e il flusso di massa di scarico di 734,34 kg contro 987,04 kg. Questi dati indicano che il motore Stage V non solo emette meno NOx in valore assoluto sul percorso, ma consuma anche significativamente meno carburante a parità di percorso, configurandosi come una tecnologia superiore sia sotto il profilo ambientale sia sotto quello dell'efficienza energetica. Tale risultato deve essere interpretato alla luce delle condizioni operative della prova e delle caratteristiche delle imbarcazioni analizzate.



STAGE IIIA

NOx [g]	Exhaust Mass Flow [Kg]	Fuel [Kg]
508,87	987,04	25,89

STAGE V

NOx [g]	Exhaust Mass Flow [Kg]	Fuel [Kg]
334,23	734,34	14,66

Figura 7 *- Trend di emissioni di NOx 2ª campagna ACTV*

2.4 Il caso Alilaguna: confronto tra motorizzazione Stage III, Stage V e ibrida

2.4.1 Disegno della campagna Alilaguna e condizioni operative

La campagna di monitoraggio condotta sulla flotta Alilaguna si distingue dal caso ACTV per il profilo operativo delle imbarcazioni coinvolte e per le caratteristiche del tracciato percorso. Alilaguna gestisce linee di navigazione lagunare a media distanza, con percorsi che si sviluppano prevalentemente nella laguna nord veneziana, toccando le isole di Murano, Burano e Sant'Erasmo e collegando il centro storico con l'aeroporto e le aree periferiche. Rispetto alle linee ACTV, caratterizzate da navigazione intra-urbana a bassa velocità con fermate ravvicinate, le imbarcazioni Alilaguna percorrono anche tratti più lunghi in laguna aperta a velocità mediamente superiori, con un profilo operativo che combina fasi di crociera sostenuta a fasi di rallentamento e accosto agli imbarcaderi.

La campagna realizzata a luglio ha coinvolto tre imbarcazioni, uguali per forma e carena, ciascuna equipaggiata con una diversa configurazione motoristica:

- un motore Stage III;
- un motore Stage V;
- un sistema ibrido.

Il tracciato percorso è pressoché identico per tutte e tre le prove, con una distanza di circa 24 km e una durata compresa tra le 2,06 ore del motore moderno e le 2,25 ore dell'ibrido. La velocità media differisce in modo non trascurabile tra le tre prove: 11,66 km/h per il motore moderno, 10,89 km/h per il vecchio, 10,67 km/h per l'ibrido. Questi divari, pur contenuti in termini assoluti, sono indicativi di differenze nel profilo operativo dei tre sistemi e devono essere considerati nell'interpretazione comparativa dei dati emissivi, poiché un'imbarcazione più lenta accumula tempi di esercizio superiori a parità di distanza percorsa.
Le condizioni ambientali al momento delle rilevazioni presentano variazioni significative tra le tre

prove. Il monitoraggio del motore Stage III è avvenuto in condizioni di temperatura sensibilmente inferiore (22-24 °C) e umidità relativa particolarmente elevata (75-94%), mentre le prove sul motore Stage V e sull'ibrido si sono svolte in condizioni di maggiore calore (28-34 °C) e umidità più contenuta (42-70%). Queste differenze delle condizioni operative costituiscono un elemento di attenzione nell'interpretazione dei risultati, per le stesse ragioni già illustrate nel caso ACTV: temperatura e umidità influenzano i processi di combustione e la formazione di NOx, rendendo necessaria una certa cautela critica nella valutazione della comparabilità diretta dei dati tra le tre prove.
Le differenze riscontrate tra le tre configurazioni motoristiche devono essere interpretate tenendo conto delle differenti condizioni ambientali e operative registrate durante le campagne, che non consentono una perfetta comparabilità delle prove.





STAGE III		
Durata (h)	Distanza (km)	Vel. Media (km/h)
2,20	24,06	10,89

STAGE V		
Durata (h)	Distanza (km)	Vel. Media (km/h)
2,06	24,13	11,66

Figura 8 *- Percorso campagna di rilevazione Alilaguna Stage III e Stage V*



HYBRID ENGINE		
Durata (h)	Distanza (km)	Vel. Media (km/h)
2,25	24,09	10,67

Figura 9 *- Percorso campagna di rilevazione Alilaguna motore ibrido*

Diversamente da quanto avvenuto per le imbarcazioni ACTV, la presenza a bordo degli strumenti di misurazione ha reso necessario evitare, per ragioni di sicurezza, la presenza di passeggeri; tuttavia durante il tragitto sono state effettuate le fermate previste dal normale percorso delle diverse linee lungo il Canal Grande, così da simulare le normali condizioni e verificare l'effetto dei rallentamenti e delle soste sulle emissioni.

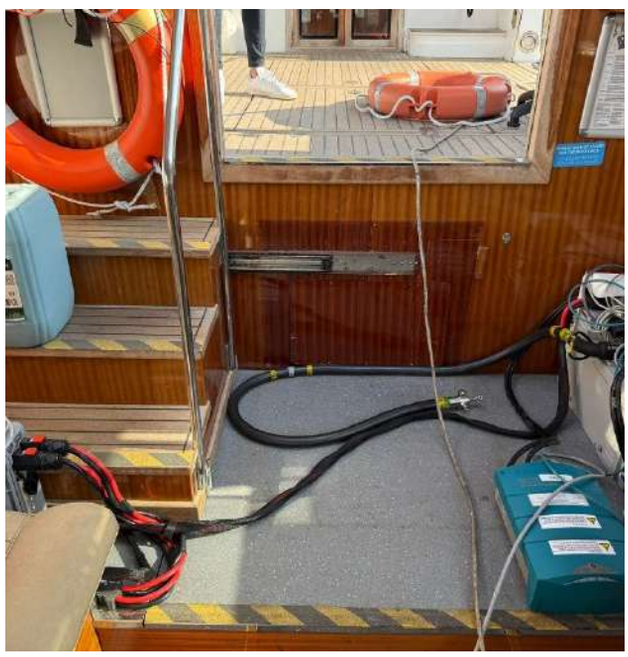


Figura 10 *- Installazione degli strumenti di misurazione sulle imbarcazioni Alilaguna*

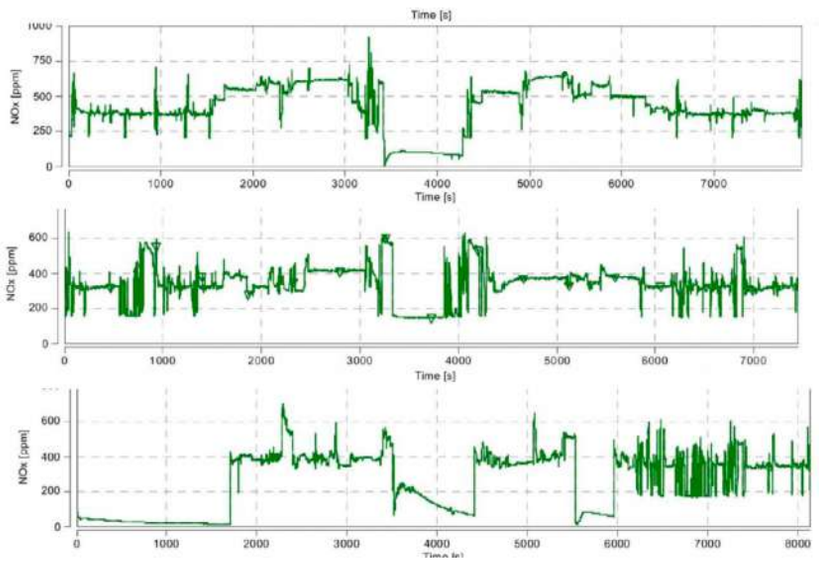
2.4.2 Risultati emissivi: la gerarchia tra le tre motorizzazioni

I dati emissivi evidenziano una gerarchia chiara e consistente tra le tre motorizzazioni. Il motore Stage III presenta i valori più elevati su tutti gli indicatori considerati: concentrazione massima di CO_2 pari a 5.747 ppm, valore medio di CO_2 di 0,0108% in volume e somma di NOx/CO_2 pari a 881,55. Il motore Stage V si colloca in posizione intermedia, con CO_2 massima di 4.181 ppm, valore medio di 0,0086% e somma di NOx/CO_2 di 654,35. Il sistema ibrido registra i valori più bassi: CO_2 massima di 3.738 ppm, media di 0,00813% e somma NOx/CO_2 di 450,65.

Questi dati sulle emissioni risultano coerenti con le aspettative legate all'evoluzione tecnologica dei sistemi di propulsione nautica. Le motorizzazioni più datate, prive dei sistemi di post-trattamento dei gas di scarico presenti nei motori moderni, producono quantità significativamente maggiori di ossidi di azoto e altri inquinanti per unità di energia utilizzata. Il passaggio dal motore endotermico meno performante in termini emissivi a quello più performante è associato a una riduzione del NOx/CO_2 somma del 25,8%, mentre il passaggio dallo Stage V all'ibrido comporta un'ulteriore riduzione del 31,1%. Il confronto diretto tra Stage III e ibrido evidenzia una riduzione complessiva del 48,9%, un dato che quantifica in modo evidente il potenziale di abbattimento delle emissioni associato alla transizione verso sistemi propulsivi di nuova generazione.

L'analisi dei profili temporali di NOx evidenzia, analogamente al caso ACTV, una correlazione tra le fasi di accelerazione e i picchi di concentrazione degli inquinanti. Il motore Stage III presenta i picchi più

elevati e una variabilità più accentuata, con concentrazioni che raggiungono e superano i 750 ppm in corrispondenza delle fasi di navigazione più sostenuta. Il motore Stage V e il sistema ibrido mostrano profili più contenuti e relativamente più stabili, con picchi meno pronunciati e una distribuzione delle emissioni più uniforme nel tempo. Questa osservazione ha implicazioni operative rilevanti che vanno oltre la dimensione tecnologica: una gestione più fluida della navigazione, con riduzione delle accelerazioni brusche e ottimizzazione dei profili di velocità, potrebbe contribuire a limitare le emissioni anche in assenza di interventi sulla tecnologia propulsiva: un risultato che dipende non solo dalle caratteristiche del motore, ma anche dal modo in cui l'imbarcazione viene condotta.



STAGE III

CO2 max (% Vol.)	CO2 Medio (% Vol.)	NOx/CO2 somma
5747	0,0108	881,5547

STAGE V

CO2 max (% Vol.)	CO2 Medio (% Vol.)	NOx/CO2 somma
4181	0,0086	654,3545

HYBRID ENGINE

CO2 max (% Vol.)	CO2 Medio (% Vol.)	NOx/CO2 somma
3738	0,00813	450,6469

Figura 11 *- Trend di emissioni NOx per le tre categorie di motore*

Il confronto del rapporto NOx/CO_2 nel tempo tra le tre motorizzazioni - reso disponibile nella Figura 11 - consente di apprezzare le differenze nella qualità del processo di combustione a parità di energia prodotta. Tutti e tre i sistemi presentano picchi di emissività relativa nei cambi di regime, ovvero quando l'imbarcazione accelera o esegue manovre; tuttavia, il motore Stage III mostra la variabilità più elevata, con picchi del rapporto che raggiungono valori prossimi a 0,05, distribuiti in modo irregolare lungo l'intera durata della navigazione. Il motore Stage V e il sistema ibrido presentano picchi più concentrati in specifiche fasi operative e valori medi sensibilmente inferiori, confermando la superiorità dei sistemi di combustione e post-trattamento di nuova generazione.

I risultati sul sistema ibrido - i più favorevoli tra le tre motorizzazioni su tutti gli indicatori disponibili - sono quindi rappresentativi del potenziale emissivo dell'ibrido in esercizio reale, rafforzando la valenza del dato come riferimento per la pianificazione della flotta e per la definizione di scenari evolutivi della mobilità lagunare.

2.5 Lettura trasversale e implicazioni per la pianificazione della flotta

L'analisi congiunta delle campagne di monitoraggio condotte sulle imbarcazioni ACTV e Alilaguna

consente di individuare alcuni **elementi utili** a valutare le prospettive di riduzione delle emissioni nel trasporto nautico veneziano. I risultati riguardano motorizzazioni, percorsi e condizioni operative differenti. Le percentuali rilevate non sono quindi sempre direttamente confrontabili, ma offrono indicazioni sul comportamento emissivo delle tecnologie esaminate.

Il primo elemento riguarda il **contributo del rinnovo tecnologico**. Nel caso ACTV, il confronto tra motorizzazioni Stage IIIA e Stage V ha evidenziato una riduzione del 13% del rapporto NOx/CO_2 nella prima campagna e del 34% delle emissioni assolute di NOx nella seconda. I dati indicano, nelle condizioni monitorate, prestazioni ambientali più favorevoli per la motorizzazione Stage V. Anche le misurazioni effettuate sulle imbarcazioni Alilaguna hanno evidenziato differenze tra motori di generazioni successive e sistemi di propulsione ibrida, confermando l'interesse verso soluzioni tecnologiche a minore impatto ambientale.

Il secondo elemento riguarda il **potenziale della propulsione ibrida**. Nel confronto effettuato sulle imbarcazioni Alilaguna, il sistema di propulsione ibrida ha evidenziato una riduzione delle emissioni di NOx/CO_2 fino al 49% rispetto alla motorizzazione di precedente generazione, nelle condizioni operative monitorate. Il dato suggerisce l'opportunità di approfondire il ruolo di questa tecnologia nei percorsi di rinnovo della flotta, tenendo conto delle caratteristiche operative dei diversi servizi.

Un terzo elemento comune ai casi Alilaguna e ACTV riguarda la **correlazione tra dinamica di navigazione e profilo emissivo**. I picchi di emissione di NOx si concentrano sistematicamente nelle fasi di accelerazione e di variazione del carico motore, indipendentemente dalla tecnologia propulsiva. Questo dato suggerisce che, parallelamente alle politiche di rinnovo della flotta, interventi orientati all'ottimizzazione dei profili di navigazione - riduzione delle accelerazioni brusche, implementazione di sistemi di gestione intelligente della velocità, ottimizzazione della spaziatura tra le fermate - potrebbero contribuire a una riduzione delle emissioni operativamente conseguibile a breve termine, senza attendere i tempi necessari per il rinnovo dell'intera flotta. In altri termini, le innovazioni tecnologiche per essere ancor più impattanti richiedono strumenti di formazione del personale di bordo, accompagnati da strumentazioni e scelte localizzative che lo supportino nell'operare in situazioni di traffico intenso e fermate frequenti.

Nel complesso, le campagne di monitoraggio forniscono una prima base di dati sperimentali sulle emissioni prodotte in condizioni reali di esercizio dalle imbarcazioni esaminate. Le evidenze raccolte indicano che il rinnovo tecnologico e il miglioramento delle pratiche operative possono rappresentare due linee di intervento complementari.

Per tradurre queste indicazioni in strumenti di pianificazione applicabili all'intero sistema lagunare **sarà necessario ampliare il numero e le tipologie delle imbarcazioni monitorate**, adottare criteri di misurazione comparabili e integrare i dati emissivi con le informazioni sui flussi di navigazione.

2.6 Prossimi step di ricerca

I risultati della presente ricerca hanno posto le basi per una sua prosecuzione che ne ampli l'ambito applicativo e permetta di realizzare una stima complessiva delle emissioni del traffico intra lagunare. Per raggiungere tale obiettivo, si ritiene siano necessarie alcune ulteriori fasi di ricerca.
In particolare:

- estendere la campagna di monitoraggio alle altre tipologie di imbarcazioni e nello specifico, ai taxi acquei e alle imbarcazioni a motore private, oltre che ai natanti dedicati ai trasporti merci o utilizzati per i diversi servizi urbani, come ad esempio la raccolta dei rifiuti;
- rapportare la misurazione delle emissioni al totale delle imbarcazioni attive nei canali interni della città in un intervallo di tempo definito, attraverso l'utilizzo dei dati del sistema MoMa della Smart Control Room che consente di monitorare attraverso un sistema diffuso di telecamere il numero e la tipologia di natanti presenti in un dato momento in una determinata area della città. L'integrazione tra dati emissivi e flussi di navigazione potrà contribuire alla costruzione di una stima complessiva delle emissioni del traffico nautico, fornendo elementi utili alla pianificazione degli interventi per una mobilità lagunare più sostenibile.



Figura 12 *- Localizzazione delle telecamere utilizzate dal sistema MoMa*

Inoltre, una volta misurato l'impatto complessivo della mobilità intra lagunare sarà indispensabile un confronto con i diversi soggetti pubblici e privati portatori di interesse per sviluppare insieme un'ipotesi di roadmap per superare le principali criticità, creare gli strumenti finanziari e operativi per facilitare l'adozione di soluzioni innovative da parte degli operatori e utilizzatori delle imbarcazioni, sostenere la necessaria formazione degli equipaggi e mantenere monitorati i risultati raggiunti.

3. Conclusioni e raccomandazioni future

L'analisi condotta nel presente Rapporto evidenzia come l'**impatto dell'innovazione tecnologica**, cui affiancare interventi di supporto al personale di bordo e di gestione del traffico nautico soprattutto nei canali più congestionati di Venezia, sia **in grado di portare benefici significativi nel contesto lagunare** veneziano.

Nello specifico, le campagne di monitoraggio PEMS condotte da AVL sulla flotta di ACTV e Alilaguna forniscono una base di dati quantitativi che possono essere di supporto ai soggetti pubblici chiamati a operare scelte di policy sulla decarbonizzazione del trasporto lagunare, in coerenza con gli obiettivi delle normative europee e nazionali richiamate. I risultati mostrano con evidenza un dato atteso, ma qui verificato empiricamente: **il rinnovo tecnologico della flotta rappresenta una delle principali leve di riduzione delle emissioni tra quelle analizzate nel presente studio**. Nelle campagne realizzate, il passaggio dallo Stage IIIA allo Stage V è risultato associato a riduzioni delle emissioni di NOx comprese tra il 13% sugli indicatori relativi e il 34% delle emissioni assolute nei percorsi ACTV; nel caso specifico di Alilaguna il sistema ibrido ha evidenziato riduzioni prossime al 50% rispetto alla motorizzazione più datata oggetto del confronto. A parità di percorso, inoltre, il motore Stage V consuma il 43% di carburante in meno rispetto allo Stage IIIA, con una riduzione stimata proporzionale delle emissioni di CO_2 che conferma la superiorità della tecnologia più avanzata tanto sul piano ambientale quanto su quello dell'efficienza energetica.

Accanto al rinnovo tecnologico, i dati suggeriscono **una seconda leva di impatto immediato: l'ottimizzazione della gestione complessiva dei percorsi di navigazione.** I picchi di NOx, infatti, si concentrano sistematicamente nelle fasi di accelerazione, indipendentemente dal tipo di motorizzazione. Interventi di *eco-driving* nautico e una gestione intelligente della velocità possono, quindi, produrre riduzioni delle emissioni nel breve termine, senza attendere i tempi del rinnovo della flotta. Il beneficio ambientale delle tecnologie avanzate è, quindi, amplificato e accelerato dalla qualità della gestione operativa, dal supporto e dalla formazione continua degli equipaggi.

In questo quadro, le raccomandazioni e le prospettive di intervento che emergono dall'analisi si articolano su due orizzonti temporali.
Nel breve termine, le priorità immediate riguardano:

- **l'estensione del programma di monitoraggio PEMS** alle categorie di flotta ancora non coperte - taxi acquei, trasporto merci, navigazione turistica e privata - che la letteratura indica come potenzialmente responsabili di quote emissive significative (ISPRA, 2023);
- **l'adozione di programmi di formazione degli equipaggi** orientati alla navigazione a basso impatto;
- **la definizione di meccanismi di incentivazione finanziaria per il rinnovo anticipato delle motorizzazioni** tecnologicamente più datate nella flotta privata e commerciale, dove l'aggiornamento tecnologico procede più lentamente in assenza di obblighi normativi specifici;
- **la proposta dell'elaborazione**, in collaborazione con ARPAV e con il sistema universitario regionale, **di linee guida ISM** (In-Service Monitoring) specifiche per la nautica lagunare.

Nel medio-lungo termine, **andrebbe anche studiata l'ipotesi strategica ambiziosa come quella della completa elettrificazione del trasporto pubblico lagunare**, per la quale l'esperienza di città come Amsterdam, Oslo e Copenaghen dimostra la maturità tecnica ed economica della soluzione

nel contesto del trasporto acqueo urbano (ITF, 2022). I vincoli specifici del sistema veneziano - lunghezza dei percorsi Alilaguna, infrastrutture di ricarica, compatibilità con pontili e imbarcaderi - sono superabili con una pianificazione integrata tra operatori, gestori portuali e amministrazioni, che dovrebbe trovare espressione in un piano di investimento pluriennale coerente con gli obiettivi europei del pacchetto Fit for 55 e con la regolamentazione FuelEU Maritime.

Un'ulteriore proposta riguarda la **costituzione di un osservatorio permanente della mobilità lagunare sostenibile**, dotato di un mandato istituzionale e di strumenti per il monitoraggio continuativo delle emissioni. L'osservatorio potrebbe contribuire a consolidare nel tempo la raccolta e l'analisi dei dati, collegandole ai meccanismi di rendicontazione della Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile e fornendo un supporto costante alle decisioni pubbliche.

Il confronto con ACTV e Alilaguna ha inoltre evidenziato alcune difficoltà legate alla continua evoluzione delle normative e dei regolamenti di sicurezza, soprattutto per quanto riguarda l'adeguamento delle imbarcazioni già in esercizio.

Una prima criticità riguarda la mancanza di uniformità nei criteri di valutazione delle tecnologie innovative. In assenza di standard consolidati, le procedure di verifica possono dare luogo a interpretazioni differenti, aumentando l'incertezza per progettisti, costruttori, operatori e soggetti preposti ai controlli, con possibili conseguenze sulla programmazione degli investimenti.

Un secondo elemento riguarda la difficoltà di applicare al contesto lagunare disposizioni concepite prevalentemente per imbarcazioni di maggiori dimensioni, operanti in mare aperto. Le caratteristiche dei natanti medio-piccoli e le particolari condizioni di navigazione nei canali veneziani richiedono infatti soluzioni tecniche e operative adeguate.

Il rischio è che l'introduzione di nuovi requisiti durante la vita operativa delle imbarcazioni, anziché nella fase di progettazione, in assenza di criteri stabili e coerenti con il contesto d'impiego, renda economicamente poco sostenibili gli interventi di innovazione, fino a compromettere investimenti e percorsi di aggiornamento tecnologico già avviati.

Sarà quindi necessario promuovere un confronto tra i diversi soggetti interessati per individuare possibili soluzioni operative a queste criticità, favorendo condizioni normative e tecniche che accompagnino, anziché ostacolare, la modernizzazione della mobilità nautica veneziana.

Il contributo agli obiettivi di sostenibilità

L'innovazione tecnologica avviata nel trasporto di persone a Venezia risulta coerente anche con gli obiettivi stabiliti a livello internazionale e nazionale.

Tra questi, il più direttamente coinvolto è il **Sustainable Development Goal 3** (SDG 3 - United Nations, 2015), **dedicato alla salute e al benessere**. I motori delle imbarcazioni emettono ossidi di azoto (NOx), gas che peggiorano la qualità dell'aria e possono nuocere alla salute di chi abita e lavora lungo i canali. Ridurre queste emissioni è quindi, prima di tutto, una misura a tutela della salute pubblica: nei canali a traffico più intenso, infatti, le concentrazioni di biossido di azoto (NO_2) possono raggiungere i valori limite fissati dalla normativa europea (ARPAV, 2023; EEA, 2024).

Appare altrettanto evidente il collegamento con l'SDG 11 della medesima Agenda (città e comunità sostenibili, United Nations, 2015): si richiama, infatti, la necessità di sistemi di trasporto accessibili e a basso impatto ambientale - il trasporto pubblico acqueo è la spina dorsale della mobilità quotidiana veneziana, non un'infrastruttura turistica - e la tutela del patrimonio culturale e naturale del sito UNESCO (target 11.4). L'SDG 13 (lotta al cambiamento climatico) si collega alla riduzione dei consumi di combustibile fossile e all'obiettivo IMO di emissioni nette zero per il settore marittimo entro il 2050 (IMO, 2023). Anche l'SDG 14 (United Nations, 2015, vita sott'acqua) richiama gli impatti del traffico nautico sulla qualità delle acque lagunari - idrocarburi, metalli pesanti, IPA nei sedimenti - rispetto ai quali il rinnovo motoristico ha effetti positivi anche oltre la dimensione atmosferica (ISPRA, 2023). Infine, l'SDG 17 (United Nations, 2015, partnership per gli obiettivi) trova una corrispondenza diretta nella struttura stessa del progetto, che ha realizzato una collaborazione multi-attore tra pubblico, privato e accademia, raramente conseguita nella ricerca ambientale applicata.

Inoltre, i dati raccolti dalla ricerca si collegano agli **obiettivi regionali di miglioramento della qualità dell'aria, gestione sostenibile degli ecosistemi costieri e lagunari e promozione dell'innovazione tecnologica**. I dati prodotti possono contribuire alla base informativa necessaria per l'attuazione e il monitoraggio di tali obiettivi a scala locale e metropolitana, anche nel quadro degli strumenti di programmazione e investimento regionali, tra cui il Programma Regionale FESR 2021–2027 e le Strategie Integrate di Sviluppo Urbano Sostenibile (SISUS).

Prospettive

Le campagne realizzate costituiscono una prima base di dati sperimentali sulle emissioni generate dalla mobilità nautica veneziana in condizioni reali di esercizio. L'estensione delle misurazioni ad altre categorie di imbarcazioni e l'adozione di protocolli di monitoraggio continuativo potranno ampliare la rappresentatività delle analisi e fornire informazioni sempre più complete a supporto delle decisioni pubbliche.

La transizione verso una mobilità nautica più sostenibile richiede tuttavia non soltanto innovazione tecnologica, ma anche strumenti finanziari e operativi adeguati, formazione degli equipaggi, un quadro regolatorio coerente con le specificità lagunari e un confronto continuativo tra i soggetti coinvolti.

L'obiettivo è accompagnare il progressivo rinnovo del sistema di mobilità acquea veneziano, conciliando le esigenze di trasporto della città con la riduzione delle emissioni, la tutela dell'ambiente lagunare e la sostenibilità degli investimenti.

Ringraziamenti

Gli autori del rapporto desiderano ringraziare le persone che hanno reso possibile la realizzazione delle campagne di monitoraggio. In particolare, per ACTV l'ingegner Gianluca Cuzzolin e i suoi collaboratori, l'ingegner Antonio Ferrari e tutti gli equipaggi delle imbarcazioni coinvolte. Per Alilaguna, oltre ai comandanti coinvolti, il dottor Alvise Visentin e i suoi collaboratori. A tutti rivolgiamo i nostri ringraziamenti per la disponibilità e la competenza dimostrate e il supporto offerto anche nel trovare le soluzioni più efficaci e compatibili con la presenza di persone a bordo.

Bibliografia

Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) (2023), Rapporto sulla qualità dell'aria in Veneto, Venezia: ARPAV.

Comune di Venezia (2023), Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS), Venezia: Comune di Venezia.

Confindustria Nautica (2025), La Nautica in Cifre – Monitor. Trend di mercato 2024/2025, Genova: Confindustria Nautica (con Fondazione Edison).

Erbe, C., Marley, S.A., Schoeman, R.P., Smith, J.N., Trigg, L.E. and Embling, C.B. (2019), 'The effects of ship noise on marine mammals - A review', Frontiers in Marine Science, 6, 606.

European Commission (2019), The European Green Deal, COM(2019) 640 final, Brussels: European Commission.

European Commission (2020), Sustainable and Smart Mobility Strategy, COM(2020) 789 final, Brussels: European Commission.

European Commission (2021), "Fit for 55": delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality, COM(2021) 550 final, Brussels: European Commission.

European Commission (2025), Communication on sustainable transport, Brussels, 5 November 2025.

European Environment Agency (EEA) (2024), Transport and Environment Report 2024, Copenhagen: EEA.

European Union (2016), Regolamento (UE) 2016/1628 del Parlamento europeo e del Consiglio del 14 settembre 2016 relativo alle prescrizioni in materia di limiti di emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante e di omologazione per i motori a combustione interna destinati alle macchine mobili non stradali, Bruxelles: Gazzetta ufficiale dell'Unione europea.

European Union (2023), Regolamento (UE) 2023/1805 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023 sull'uso di combustibili rinnovabili e a basse emissioni di carbonio nel trasporto marittimo (FuelEU Maritime), Bruxelles: Gazzetta ufficiale dell'Unione europea.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023), Sixth Assessment Report, Geneva: IPCC.

International Energy Agency (IEA) (2023), CO_2 Emissions from Fuel Combustion, Paris: IEA.

International Energy Agency (IEA) (2025), Energy Efficiency 2025, Paris: IEA.

International Maritime Organization (IMO) (2023), 2023 IMO Strategy on reduction of GHG emission from ships, London: IMO.

International Transport Forum (ITF) (2022), Mode Choice in Freight Transport, Paris: OECD Publishing.
International Transport Forum (ITF) (2023), ITF Transport Outlook 2023, Paris: OECD Publishing.

ISPRA (2023), Rapporto Ambiente Costiero, Roma: ISPRA.

ISPRA (2025), Italian Informative Inventory Report 2025. National Greenhouse Gas Inventory 1990-2023, ISPRA, Roma.

ISTAT (2023), Movimento turistico in Italia, Roma: ISTAT.

Kyoto Club e CNR-IIA (2024), MobilitAria 2024. Qualità dell'aria, effetti sanitari dell'inquinamento, sicurezza stradale e città 30, Roma: Kyoto Club / CNR-IIA.

Ministero del Turismo (2023), Rapporto sul turismo in Italia, Roma: Ministero del Turismo.

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) (2024), Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) – aggiornamento, Roma: MASE.

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) (2023), Piano generale dei trasporti e della logistica, Roma: MIT.

Molinaroli, E., Guerzoni, S. and Suman, D. (2019), 'Do the adaptations of Venice and Houston to flooding offer lessons for other vulnerable coastal cities?', Environment International, 125, pp. 397–412.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2012), Compact City Policies: A Comparative Assessment, OECD Green Growth Studies, Paris: OECD Publishing.

Rapaglia, J., Zaggia, L., Ricklefs, K., Gelinas, M. and Bokuniewicz, H. (2011), 'Characteristics of ships' depression waves and associated sediment resuspension in Venice Lagoon, Italy', Journal of Marine Systems, 85(1–2), pp. 45–56.

Regione del Veneto (2020), Strategia Regionale per lo Sviluppo Sostenibile (SRSvS), approvata con deliberazione del Consiglio regionale n. 80 del 20 luglio 2020, Venezia: Regione del Veneto.

Scarpa, G.M., Zaggia, L., Manfè, G., Lorenzetti, G., Parnell, K.E., Soomere, T., Rapaglia, J.P. and Molinaroli, E. (2019), 'The effects of ship wakes in the Venice Lagoon and implications for the sustainability of shipping in coastal waters', Scientific Reports, 9, 19014.

UNESCO (2025), Venice and its Lagoon – World Heritage Site Report, Paris: UNESCO.

United Nations (2015), Transforming our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development, Resolution A/RES/70/1, New York: United Nations.

United Nations Environment Programme (UNEP) (2022), Global Environment Outlook, Nairobi: UNEP.

Williams, R., Wright, A.J., Ashe, E., Blight, L.K., Bruintjes, R., Canessa, R., Clark, C.W., Cullis-Suzuki, S.,

Dakin, D.T., Erbe, C., Hammond, P.S., Merchant, N.D., O'Hara, P.D. and Wale, M.A. (2015), 'Impacts of anthropogenic noise on marine life', Ocean and Coastal Management, 115, pp. 17–24.

World Bank (2023), Transport Global Practice Overview, Washington, D.C.: World Bank.

Zaggia, L., Lorenzetti, G., Manfè, G., Scarpa, G.M., Molinaroli, E., Parnell, K.E., Rapaglia, J.P., Gionta, M. and Soomere, T. (2017), 'Fast shoreline erosion induced by ship wakes in a coastal lagoon: Field evidence and remote sensing analysis', PLoS ONE, 12(10), e0187210.

Sitografia

Comune di Venezia – Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS): https://www.comune.venezia.it/pums

EUR-Lex – Regolamento (UE) 2016/1628 (CELEX 32016R1628): https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32016R1628

EUR-Lex – Comunicazione "Fit for 55", COM(2021) 550 final (CELEX 52021DC0550): https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021DC0550

European Commission – Documento su trasporto sostenibile (novembre 2025): https://transport.ec.europa.eu/document/download/73447373-de2a-4ba4-9371-36d1186035d4_en

International Energy Agency (IEA) – Emissions / What are the main sources of global CO_2 emissions: https://www.iea.org/world/emissions#what-are-the-main-sources-of-global-co2-emissions

ISPRA – Italian Greenhouse Gas Inventory 1990–2023. National Inventory Document 2025: https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/italian-greenhouse-gas-inventory-1990-2023-national-inventory-document-2025

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT): https://www.mit.gov.it/node/18857

Regione del Veneto - https://venetosostenibile.regione.veneto.it/la-strategia-regionale

Scarpa et al. (2019), The effects of ship wakes in the Venice Lagoon... (Scientific Reports): https://www.nature.com/articles/s41598-019-55238-z

Autori

Roshan Borsato, project manager dell'Area TEA di VSF, è consulente, docente presso l'Università Ca' Foscari e progettista di ecosistemi di innovazione con esperienza nei processi di sostenibilità, economia circolare e transizione energetica. Collabora con enti nazionali e internazionali sui temi della competitività economica, dell'innovazione industriale e della trasformazione sostenibile delle filiere produttive. Svolge attività di ricerca e divulgazione sui temi dell'internazionalizzazione d'impresa, della resilienza territoriale e delle nuove traiettorie della transizione ecologica. Partecipa a progetti e tavoli istituzionali dedicati alla sostenibilità, all'economia circolare e allo sviluppo di partnership pubblico-private. Il suo lavoro si concentra sull'integrazione tra innovazione tecnologica, impatti socio-economici e strategie di lungo periodo.

Silvia Oliva, coordinatrice delle attività progettuali di VSF, è un'economista con un'esperienza quasi trentennale nell'ambito dell'analisi socioeconomica sui temi del lavoro, dell'impresa e dello sviluppo territoriale. Lavora come consulente per enti pubblici e privati con cui sviluppa e coordina progetti di ricerca. Negli anni ha curato diverse pubblicazioni, tra cui i Rapporti annuali della Fondazione Nord Est, editi da Marsilio. È docente a contratto di Teoria e Strutture Organizzative presso l'Università di Padova. Dal 2023 è parte del collettivo Anfibio di Venezia, un network di professionisti attivi nell'ambito dell'urbanistica, dell'architettura e dell'analisi territoriale.

Anna D'Este è project manager e sustainability specialist, attiva in progetti di ricerca applicata su ESG, economia circolare e strategie di sostenibilità aziendale. In VSF ha ricoperto il ruolo di PM dell'area Transizione energetica e ambiente fino a dicembre 2025 e attualmente sviluppa il progetto di formazione relativo al Green Public Procurement, organizzato con la Regione del Veneto. Ha collaborato con il LOOP Research Center dell'Università di Verona. Attualmente, sta completando il Master in Sustainability Management presso SDA Bocconi.

Florian George Bonadeo è technical sales support engineer presso AVL Italia. Laureato in Ingegneria Elettronica e delle Telecomunicazioni, da oltre undici anni si occupa di sistemi di misura delle emissioni, acquisizione dati e supporto tecnico a campagne sperimentali in ambito automotive e marine. Ha maturato esperienza nelle attività di testing e omologazione dei veicoli, collaborando con diversi clienti automotive per il supporto alle prove di validazione e certificazione. Nell'ambito del presente progetto ha seguito la fornitura della strumentazione AVL e le attività di installazione e messa in servizio del sistema PEMS a bordo delle imbarcazioni coinvolte nello studio, contribuendo alla qualità e all'affidabilità dei dati raccolti durante le campagne di monitoraggio nella laguna di Venezia.

Carla Riccio è calibration engineer con esperienza nello sviluppo e nella validazione delle calibrazioni motore e delle strategie di controllo per applicazioni automotive. Laureata in Ingegneria del Veicolo, precedentemente in AVL, oggi opera in Stellantis presso il sito di Pomigliano d'Arco, dove contribuisce alle attività di calibrazione, analisi dati e validazione delle prestazioni del powertrain, supportando le fasi di sviluppo e industrializzazione del veicolo. Nel corso della sua esperienza professionale ha maturato competenze nell'acquisizione e nell'interpretazione dei dati sperimentali, nella gestione delle prove veicolo e nell'ottimizzazione dei parametri di controllo finalizzati al raggiungimento degli obiettivi di performance, consumi ed emissioni. Nell'ambito del presente progetto, ha seguito le

attività di analisi e validazione dei risultati sperimentali, contribuendo all'affidabilità delle soluzioni sviluppate e al raggiungimento degli obiettivi tecnici del programma.

Andrea Sangermano è affiliate business manager presso AVL Italia per la divisione dedicata alla strumentazione per la misurazione delle emissioni. Si occupa dello sviluppo delle opportunità di business e del supporto ai clienti automotive, marine e industriali nell'adozione di soluzioni avanzate per il monitoraggio delle emissioni e la conformità normativa. Grazie alla sua esperienza nel settore, coordina progetti complessi che coinvolgono sistemi di analisi emissioni, PEMS e tecnologie per prove di laboratorio e sul campo, contribuendo alla diffusione delle soluzioni AVL e al successo delle attività di validazione e certificazione dei clienti.



San Marco 176, Calle del Cappello Nero | 30124 Venezia
www.vsf.foundation