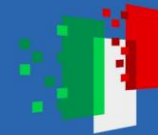




Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



LA SUBSIDENZA IN ITALIA: dal confronto tecnico-scientifico alla creazione di un gruppo di lavoro (iSUB-I)
17-18Febbraio 2026, Padova

Subsidenza e innalzamento del livello del mare: evoluzione spazio-temporale della vulnerabilità al RSLR nella Laguna di Venezia

Luigi Tosi, Marta Cosma, Cristina Da Lio, Sandra Donnici

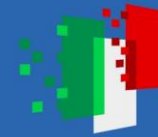
Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Geoscienze e Georisorse, Padova



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Outline

Background

Inquadramento generale

Precedente concettualizzazione della vulnerabilità di Venezia alla subsidenza:

Subsidenza antropogenica

Conseguenze della perdita di quota del terreno

La soluzione per proteggere il centro storico di Venezia e gli effetti sull'ecosistema lagunare

Un nuovo concetto di vulnerabilità di Venezia alla subsidenza del suolo e all'innalzamento del livello del mare

Conclusioni



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



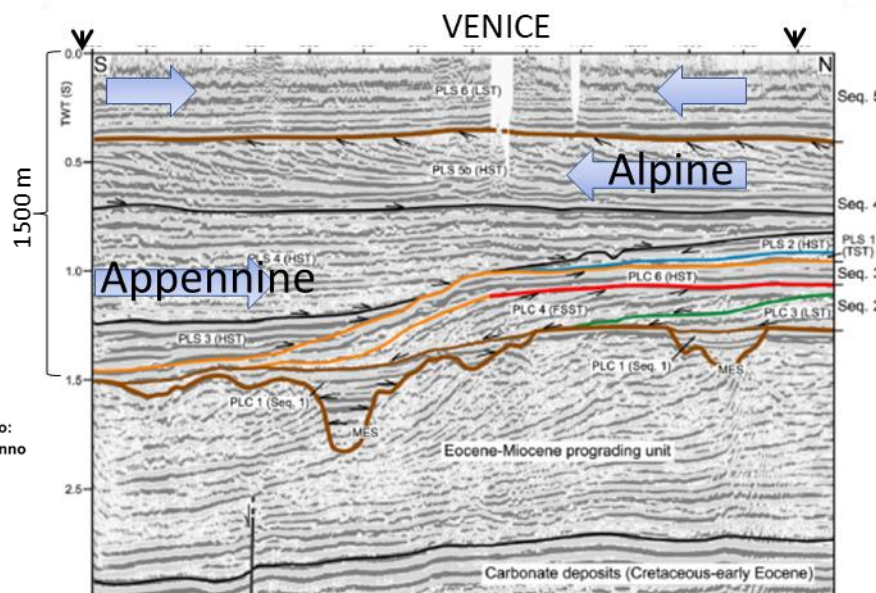
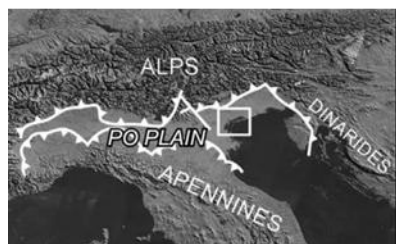
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



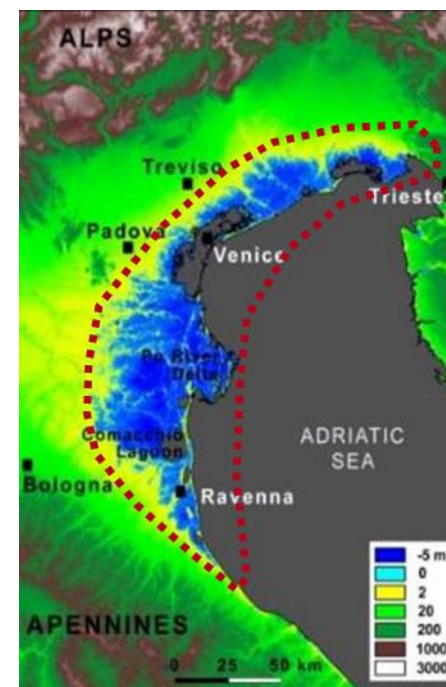
Background: assetto e subsidenza naturale



Tosi et al., 2012

L'area veneziana si trova in un bacino sedimentario compreso tra le Alpi e gli Appennini, che per sua natura è soggetto a subsidenza naturale principalmente controllata dalla deformazione del basamento e dalla consolidazione dei depositi quaternari.

Nella laguna di Venezia, la subsidenza naturale varia tra 0,5 e 4 mm/anno, con circa l'80% attribuibile alla compattazione dei depositi olocenici.



Tosi et al., 2010

Questo contesto geologico, insieme alle opere di bonifica idraulica, ha determinato la formazione di una pianura costiera in gran parte soggiacente all'Imm, fino a 4 m.





Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



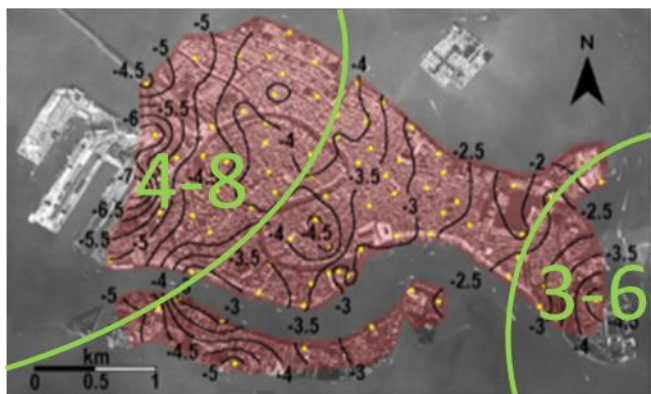
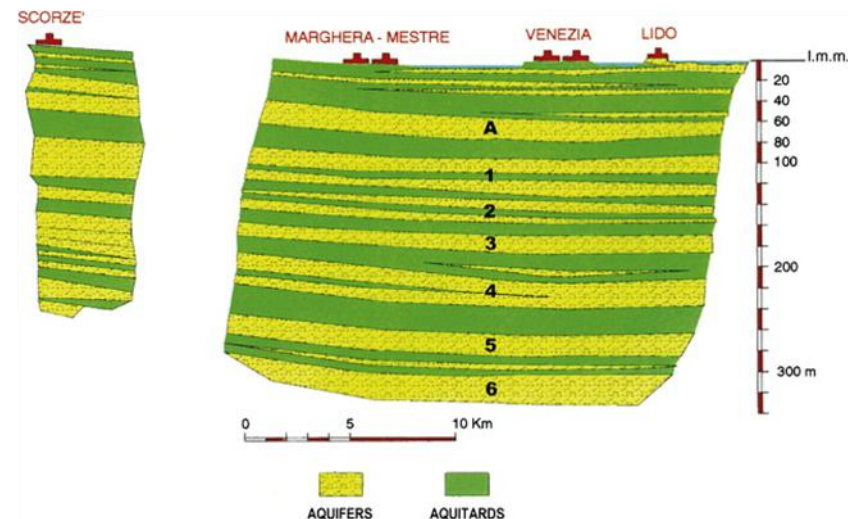
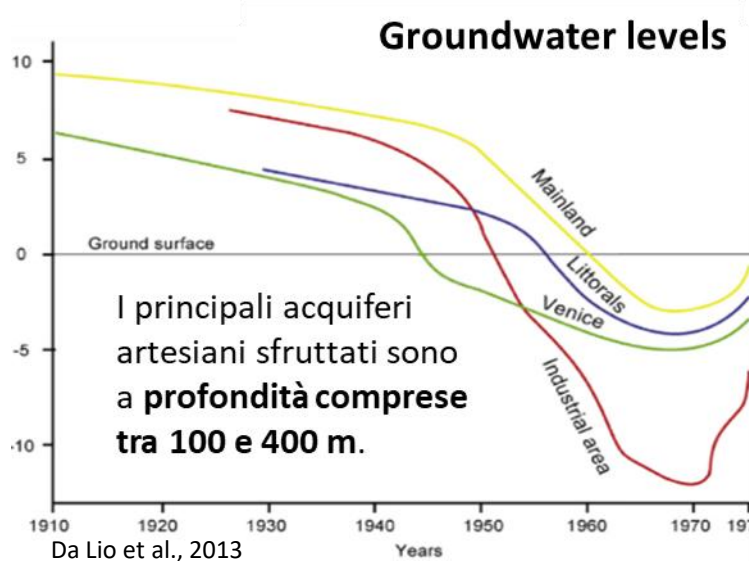
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



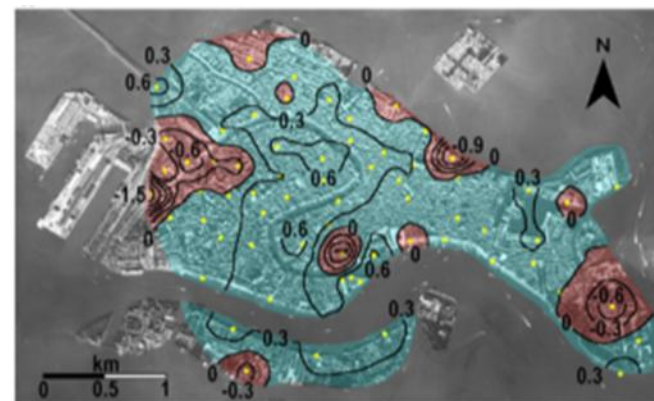
Background: Subsidenza antropogenica



Ground
movements
1961-1969

Induced + natural
= 3-8 mm/yr

Tosi et al., 2002



Ground
movements
1973-1993

Almost natural
= 0.5-1.5 mm/yr



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



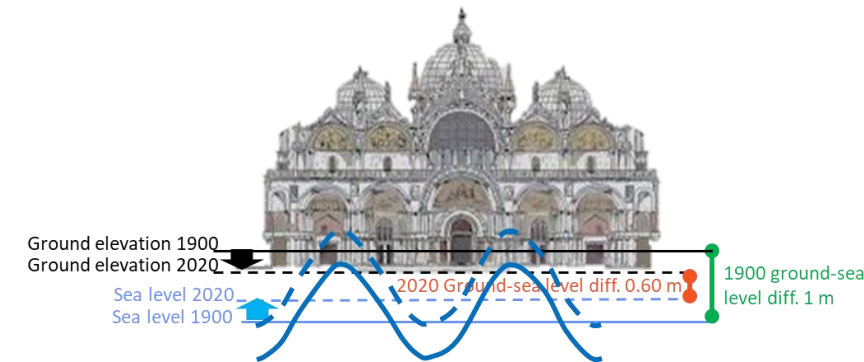
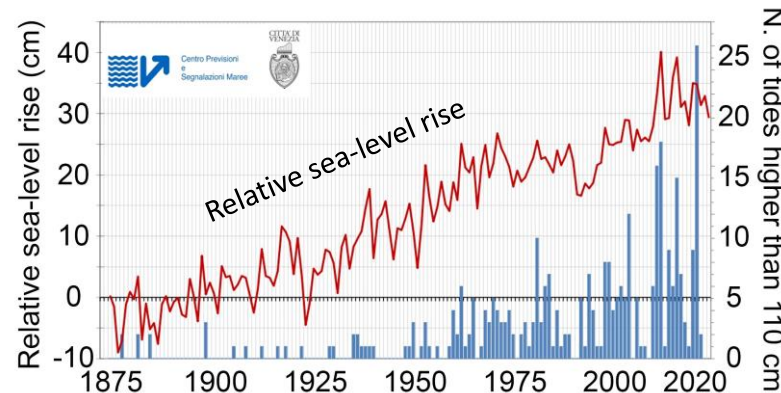
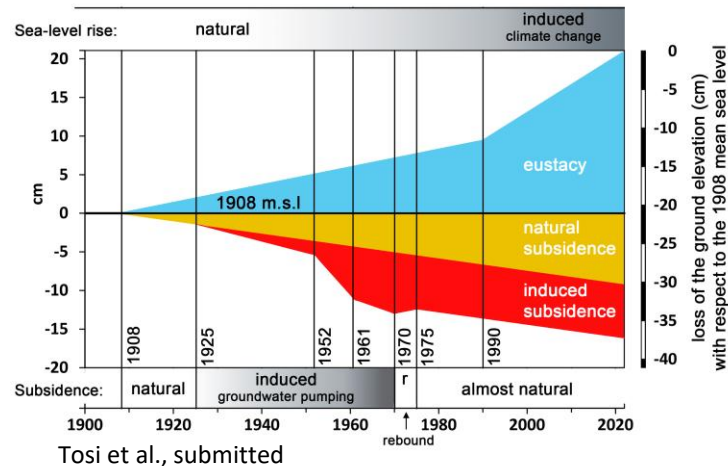
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

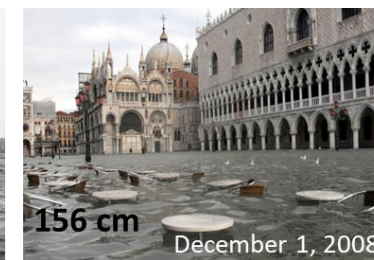


Background: Conseguenze della perdita di quota del suolo



La perdita altimetrica complessiva del centro storico di Venezia ad oggi è di circa 40 cm, metà dovuta alla subsidenza e metà all'aumento del livello del mare.

Con il divieto delle estrazioni artesiane, la subsidenza è tornata ai livelli naturali, ma la perdita di quota dovuta a subsidenza è rimasta irreversibile.

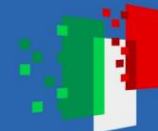




Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



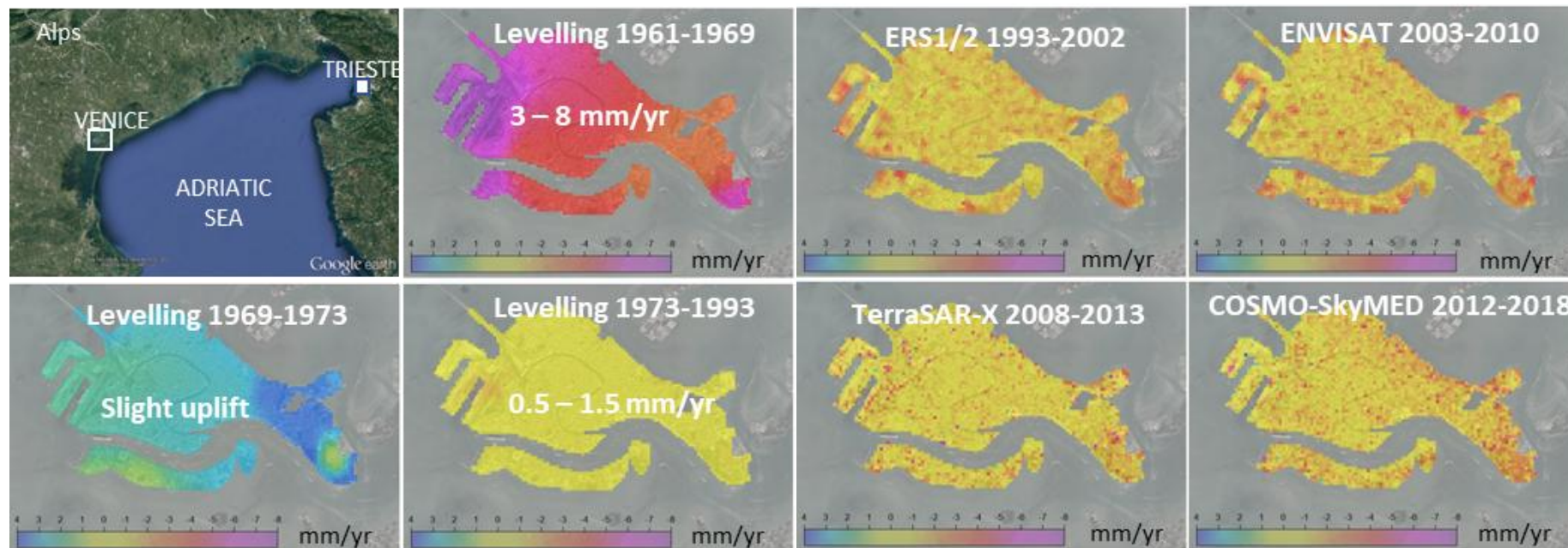
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Background: Effetti della perdita di quota del suolo



Tosi et al., 2002; Tosi et al., 2013; Tosi et al., 2017

Con la regolamentazione delle estrazioni artesiane, prima le livellazioni e successivamente le tecniche InSAR hanno confermato la stabilità del centro storico. Le tecniche interferometriche hanno inoltre evidenziato una subsidenza eterogenea, legata alla variabilità del sottosuolo, con sprofondamenti locali e temporanei dovuti a interventi antropici.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

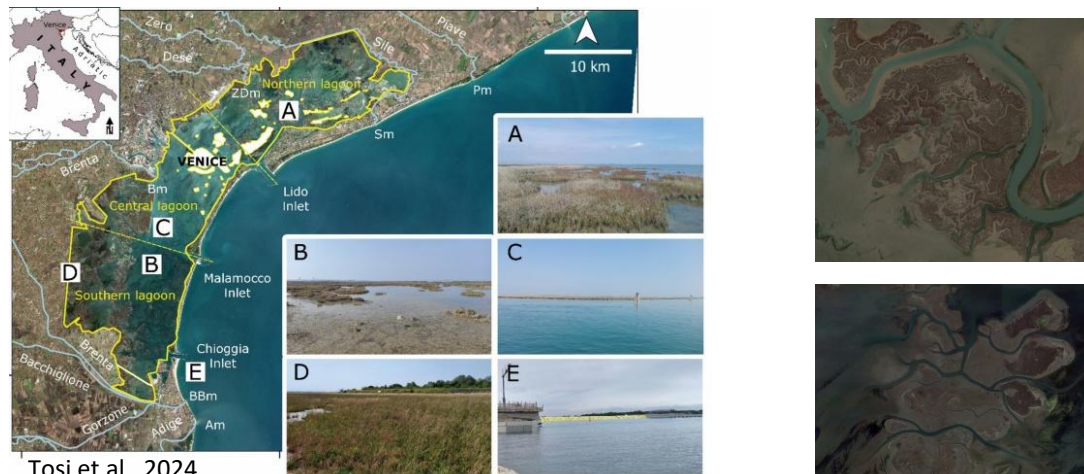


La soluzione che ha salvato il centro storico di Venezia



Per contrastare le sempre più frequenti inondazioni sono state installate barriere mobili alle bocche di porto. Operative dal 2020 hanno già evitato numerosi allagamenti nel centro storico.

... ma con un forte impatto sull'ecosistema lagunare



Tosi et al., 2024

Di contro, la riduzione dell'escursione di marea nella laguna, limita anche l'apporto sedimentario alle barene, con effetti negativi sulla capacità del sistema intertidale di adattarsi all'innalzamento relativo del livello del mare e sui servizi ecosistemici.



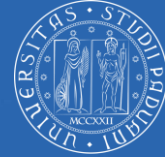
Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

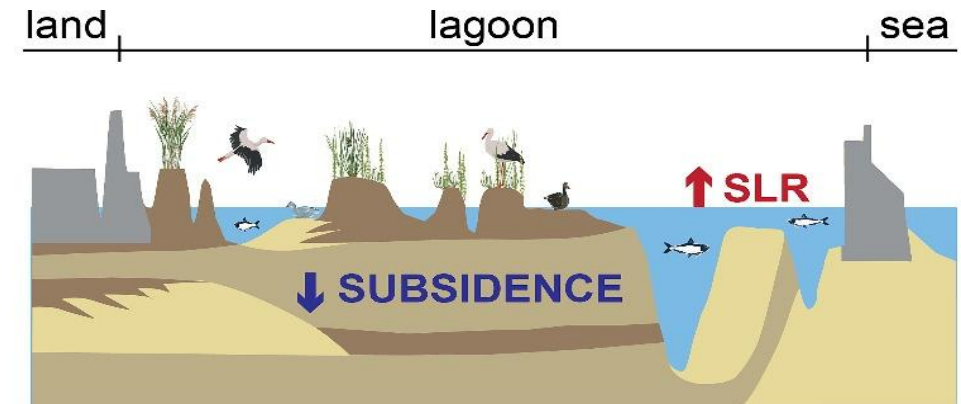


Un nuovo concetto di vulnerabilità di Venezia alla subsidenza del suolo e all'innalzamento del livello del mare

In che modo è cambiato il concetto di vulnerabilità di Venezia?

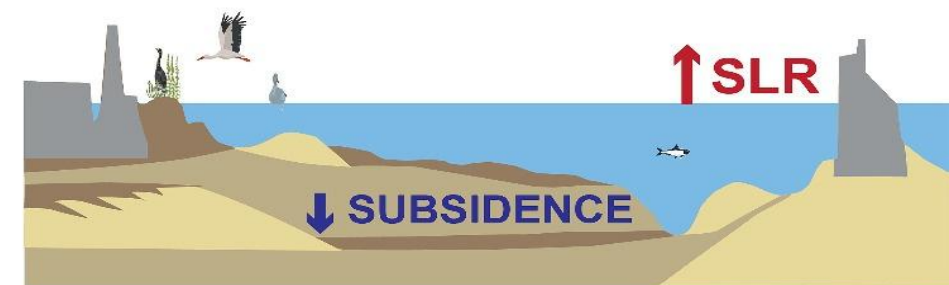
- La vulnerabilità di Venezia non è più incentrata sul rischio di allagamento del centro storico, oggi in gran parte mitigato dalle barriere mobili.
- L'attenzione si è spostata sulla perdita delle morfologie tidali e della loro geodiversità, fondamentali per il mantenimento dei servizi ecosistemici lagunari che rendono unici i paesaggi lagunari veneziani.
- Sia gli ambienti intertidali sia quelli subtidali sono sensibili all'innalzamento relativo del livello del mare (RSLR).

La vulnerabilità è quindi intesa come la propensione delle morfologie tidali a essere influenzate negativamente dall'RSLR.



PAST

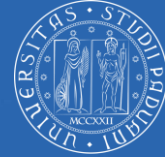
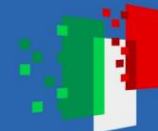
great variability of tidal morphologies
higher geodiversity
better condition for ecosystem services



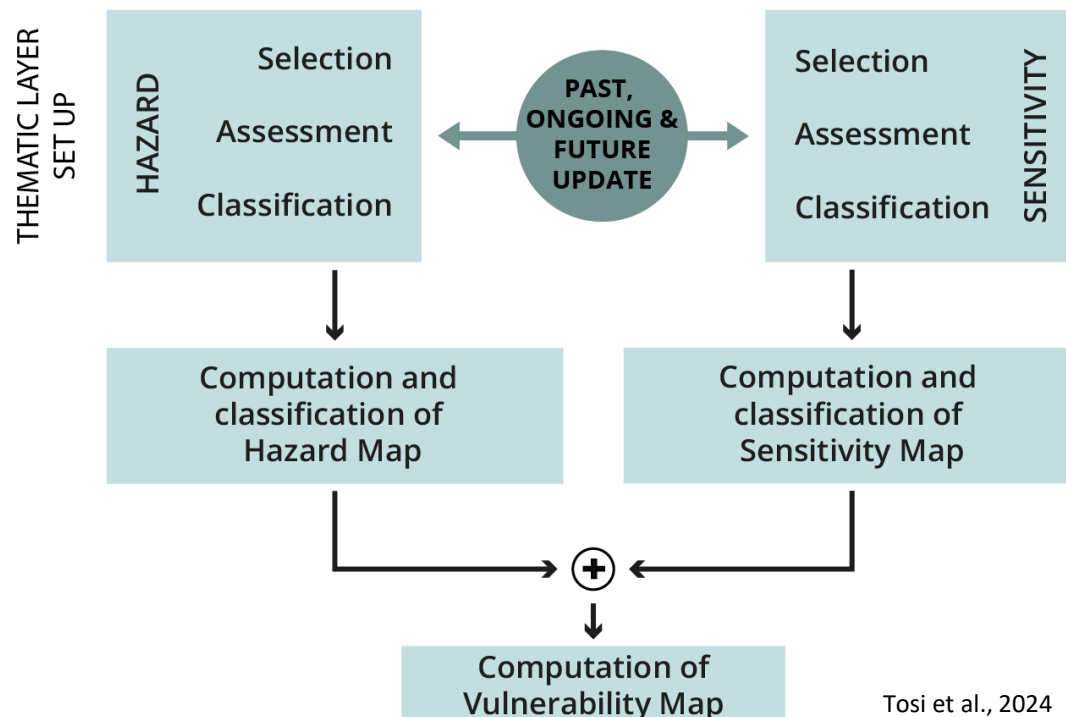
FUTURE

tidal morphology deepening and flattening
loss of geodiversity
loss of ecosystem services

Tosi et al., 2024



Metodologia – Approccio basato su indicatori



Tosi et al., 2024

HAZARD (Pericolosità): variabili fisiche che determinano la vulnerabilità

SENSITIVITY (Sensibilità): proprietà intrinseche delle morfologie tidali

VULNERABILITY (Vulnerabilità): propensione del sistema a essere negativamente influenzato dall'innalzamento relativo del livello del mare (RSLR)

- Impostazione dei layer tematici
- Calcolo delle mappe di hazard e sensibilità

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i L_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}$$

Pesi basati su
metodi AHP

- Calcolo della mappa di vulnerabilità

$$Vulnerability = Hazard + Sensitivity$$



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



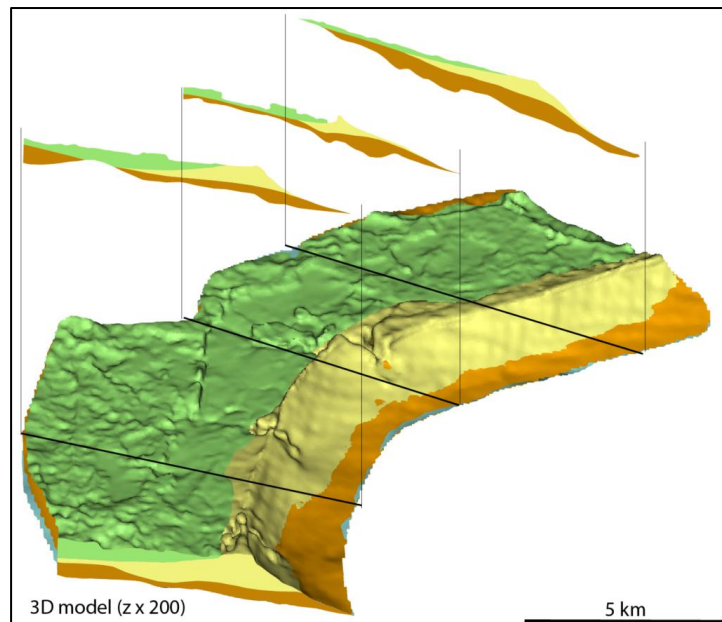
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



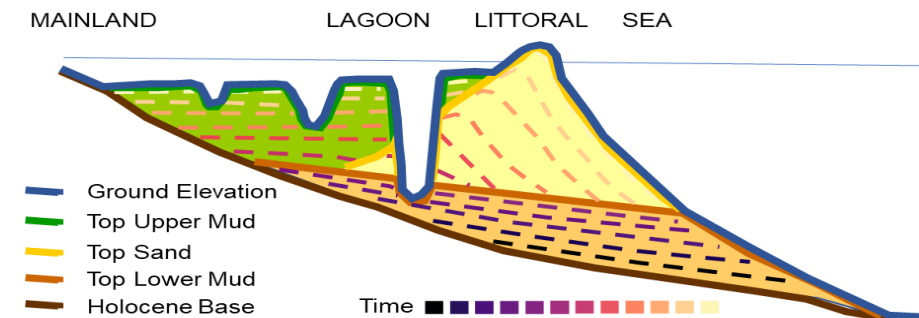
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Modello geologico



Tosi et al., 2024



Tosi et al., 2024

UNITÀ DI FANGO INFERIORE (LOWER MUD UNIT)

Trasgressione marina

Ambiente retrobarriera / estuarino a granulometria fine

UNITÀ DI FANGO SUPERIORE (UPPER MUD UNIT)

Stadio di alto livello marino (highstand)

Ambiente lagunare e deltizio a granulometria fine

UNITÀ SABBIOSA ESTERNA (OUTER SAND UNIT)

Litorale a granulometria grossolana

Poiché la subsidenza naturale è principalmente legata alla compattazione delle unità oloceniche, il primo passo è stato lo sviluppo di un modello geologico gestibile ed estrapolabile con continuità all'intero bacino.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



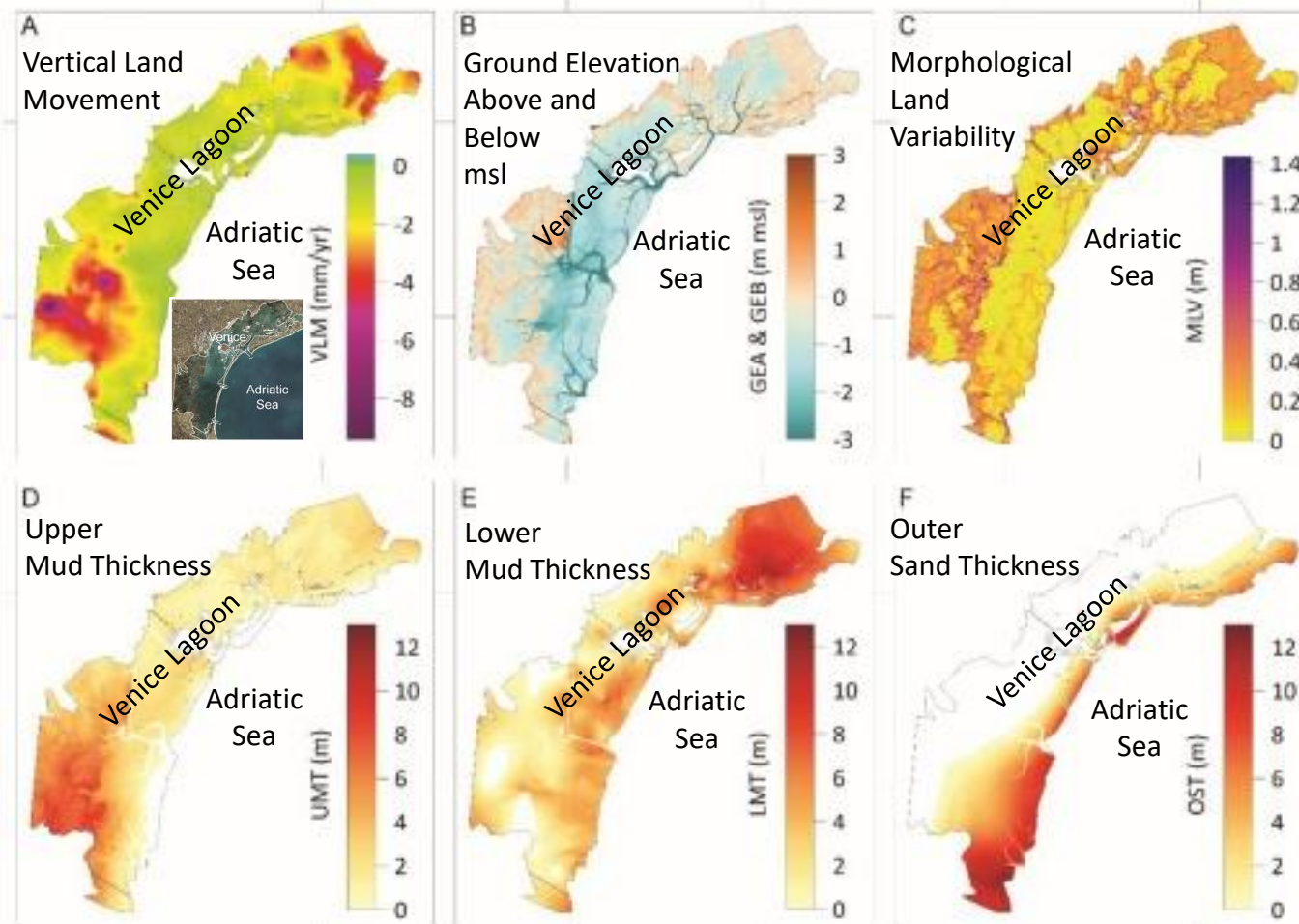
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Impostazione dei layer tematici



PERICOLOSITÀ (HAZARD)

Movimenti verticali del suolo

Innalzamento del livello del mare

SENSIBILITÀ (SENSITIVITY)

Altimetria delle aree emerse e sommerse

Variabilità morfologica

Stratigrafia del sottosuolo

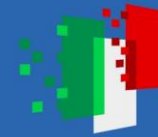
Tosi et al., 2024



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



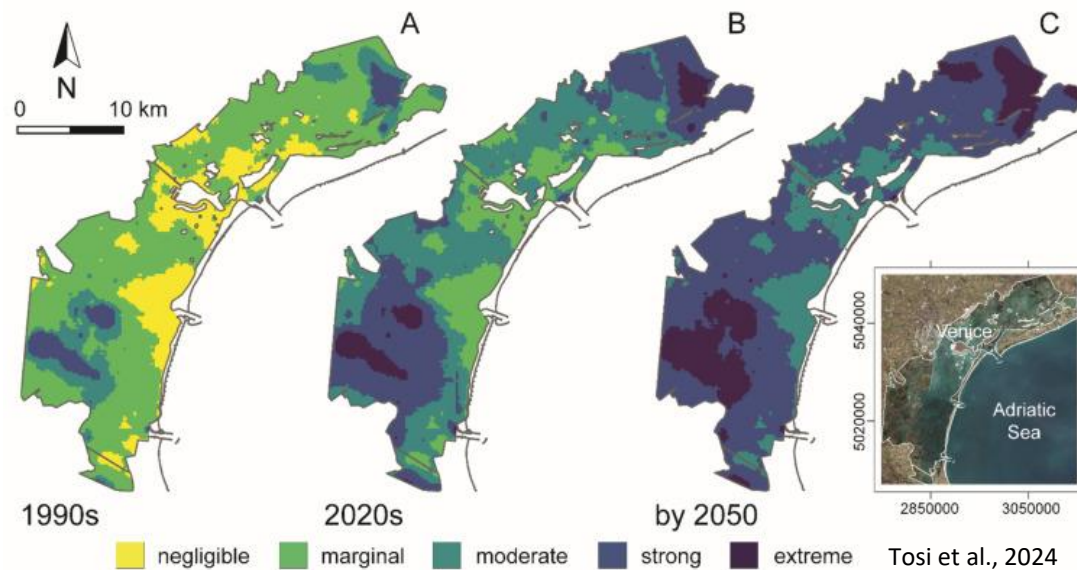
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



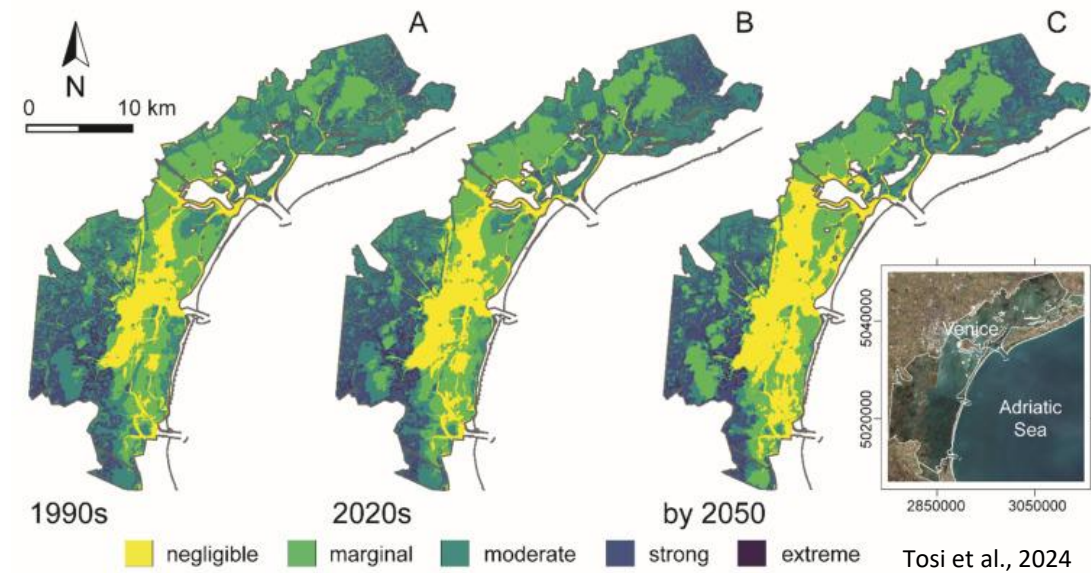
Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Pericolo



Sensibilità



L'aumento della pericolosità è guidato dall'accelerazione dell'innalzamento del livello del mare, mentre la subsidenza del suolo controlla la variabilità locale del RSLR.

La sensibilità è determinata dalla quota del suolo rispetto al livello medio del mare, dalla variabilità morfologica e dalle variazioni di spessore delle unità di sottosuolo.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



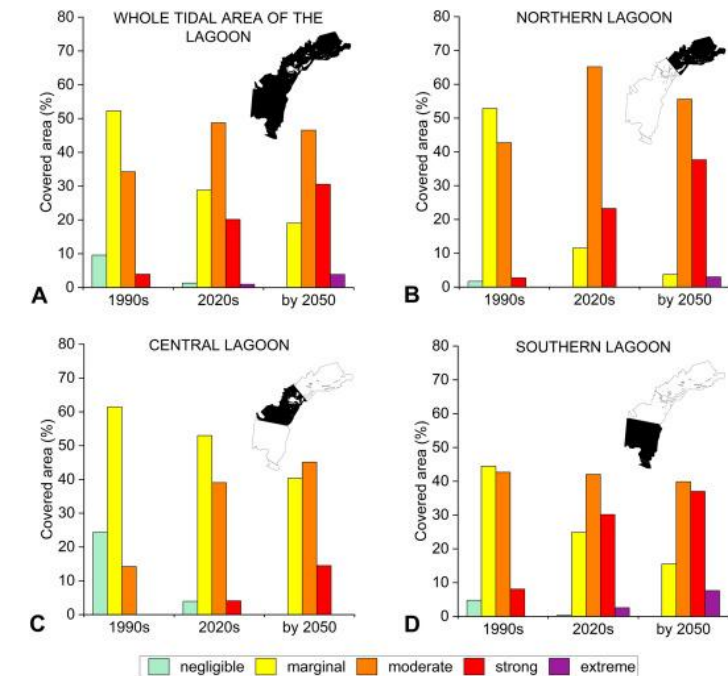
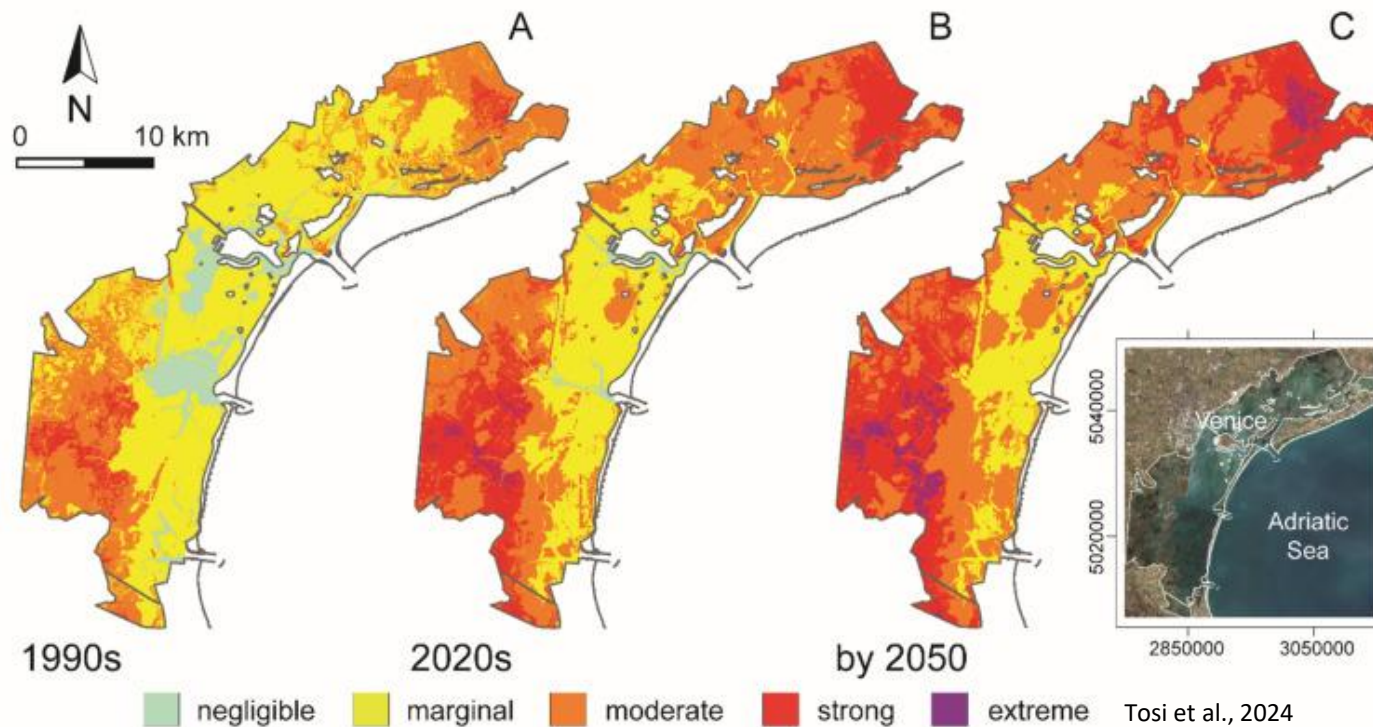
Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Vulnerabilità



Tosi et al., 2024

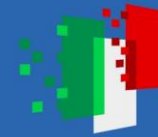
La vulnerabilità risulta maggiore nelle morfologie tidali dei settori nord-orientali e sud-occidentali della laguna, in relazione all'elevata subsidenza, alla variabilità morfologica, allo spessore dei depositi fini più superficiali e alla quota del suolo rispetto al livello medio del mare.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Wrap up

- Dal 2020 Il centro storico di Venezia non è più colpito gravemente dagli allagamenti grazie alle barriere mobili alle bocche di porto
- L'innalzamento relativo del livello del mare renderà le chiusure sempre più frequenti, con impatti critici sull'ecosistema lagunare.
- Anche tassi di subsidenza di pochi mm/anno producono effetti significativi, interessando sia le aree emerse sia quelle sommerse.
- Entro il 2070 circa il 40% della laguna presenterà vulnerabilità elevata–estrema, associata alla marinizzazione e alla perdita di barene.
- L'analisi di vulnerabilità costituisce uno strumento di supporto alle decisioni gestionali a sostegno delle politiche di uso del suolo e di conservazione, in particolare per il ripristino delle barene perdute.
- La metodologia proposta, sebbene specifica per la Laguna di Venezia, può essere adattata a numerosi altri sistemi costieri nel mondo.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Grazie per l'attenzione

Ringraziamenti



**REconstruct subsurface heterogeneities and
quantify Sediment needs TO improve the
REsilience of Venice saltmarshes**

UniPD-ICEA:

Massimiliano Ferronato

Annamaria Mazzia

Urooj Qayyum

Claudia Zoccarato

Pietro Teatini

