

Progetto di Ricerca

STRUMENTI DI ARTIFICIAL INTELLIGENCE

PER LA VALUTAZIONE DELL'EROSIONE COSTIERA

PRESENTAZIONE DELLA RICERCA

Obiettivi

Obiettivo della ricerca è lo sviluppo e la validazione di strumenti basati su **Artificial Intelligence** per la valutazione dei fenomeni di erosione costiera, con specifica attenzione alla stima dell'arretramento della linea di riva in seguito a eventi di mareggiata.

In particolare, si intende mettere a punto un modello di **machine learning** (quali reti neurali, decision tree, random forest o approcci ibridi) in grado di analizzare dati multi-sorgente, inclusi dataset di immagini satellitari e rilievi costieri, al fine di prevedere variazioni morfologiche della linea di riva su scale temporali diverse.

Posizione del problema

La dinamica della linea di riva rappresenta uno degli indicatori più rilevanti dello stato evolutivo dei sistemi costieri, in particolare in relazione agli effetti di eventi estremi quali mareggiate e tempeste. La crescente pressione antropica e i cambiamenti climatici rendono sempre più urgente lo sviluppo di strumenti predittivi affidabili per la gestione e la protezione delle aree costiere (Nicholls and Cazenave, 2010; Voudoukas et al., 2020).

Tradizionalmente, la valutazione dell'erosione costiera si basa su rilievi topografici, analisi di serie storiche e modellazione numerica dei processi idrodinamici e sedimentari (Dean and Dalrymple, 2002; Hanson et al., 2010). Tuttavia, tali approcci presentano alcune limitazioni: elevati costi e difficoltà di acquisizione sistematica dei dati, limitata risoluzione temporale e spaziale e complessità nella modellazione dei processi non lineari che governano l'evoluzione costiera (Cowell et al., 2003).

Negli ultimi anni, l'uso di tecniche di analisi di immagine su dati satellitari e aerofotogrammetrici ha consentito una migliore ricostruzione delle variazioni della linea di riva (Boak and Turner, 2005; Vos et al., 2019). In particolare, l'impiego di serie temporali di immagini multispettrali ha permesso di ottenere dataset ad alta risoluzione spazio-temporale utili per l'analisi dei trend erosivi (Luijendijk et al., 2018). Tuttavia, l'interpretazione automatica di tali dati e la previsione dell'evoluzione futura restano sfide aperte. In questo contesto, gli approcci basati su **Artificial Intelligence** hanno mostrato un elevato potenziale nella modellazione di sistemi complessi e non lineari (LeCun et al., 2015; Goodfellow et al., 2016). In ambito costiero, tecniche di machine learning sono state applicate con successo alla previsione dell'evoluzione morfologica e dei parametri idrodinamici (Goldstein et al., 2019; Montaña et al., 2020), dimostrando capacità superiori rispetto ad approcci tradizionali in presenza di grandi dataset.

Nonostante tali potenzialità, ad oggi non esistono

strumenti consolidati e validati su ampi dataset che consentano una stima robusta e generalizzabile dell'arretramento della linea di riva in risposta a eventi estremi, né una sistematica integrazione tra analisi di immagine e modelli predittivi basati su AI (Castelle et al., 2021).

Innovatività della ricerca proposta

La ricerca è innovativa per i seguenti aspetti:

1. Integrazione tra analisi di immagine e machine learning: sviluppo di un approccio integrato che combina tecniche avanzate di image processing con algoritmi di apprendimento automatico per l'estrazione e la previsione della linea di riva.
2. Sviluppo di modelli predittivi data-driven: implementazione e confronto di diversi modelli (reti neurali, random forest, decision tree) per la stima dell'arretramento costiero, con particolare attenzione alla loro capacità di generalizzazione.
3. Utilizzo di dataset multi-sorgente: integrazione di dati satellitari, rilievi topografici, dati meteomari e informazioni storiche per migliorare l'accuratezza delle previsioni.
4. Applicazione a eventi estremi: focalizzazione sulla risposta morfodinamica delle coste a mareggiate, ambito in cui i modelli tradizionali risultano particolarmente incerti.

Metodologia

La metodologia si basa su un approccio integrato articolato nelle seguenti fasi:

1. Raccolta e preprocessing dei dati. Acquisizione di immagini satellitari e aerofotogrammetriche; raccolta di dati meteomari (onde, vento, livello del mare); costruzione di un database georeferenziato delle variazioni della linea di riva.
2. Estrazione della linea di riva. Applicazione di tecniche di analisi di immagine per il riconoscimento automatico della shoreline; validazione dei risultati mediante confronto con dati osservati.
3. Sviluppo dei modelli di machine learning. Implementazione di modelli quali reti neurali artificiali, random forest e decision tree; addestramento dei modelli su dataset storici; selezione delle variabili più rilevanti (feature selection).
4. Validazione e confronto dei modelli. Valutazione delle performance predittive mediante metriche statistiche; confronto tra diversi approcci per identificare il modello più robusto.
5. Applicazione a casi studio. Analisi di tratti costieri rappresentativi; simulazione di scenari di mareggiata e valutazione dell'arretramento della linea di riva.

Risultati attesi

- sviluppo di un metodo automatizzato per l'estrazione della linea di riva da immagini;
- realizzazione di un modello di machine learning per la previsione dell'erosione costiera;
- identificazione dei parametri principali che influenzano l'arretramento della shoreline;
- valutazione comparativa delle performance di diversi algoritmi di AI;
- definizione di linee guida per l'utilizzo di strumenti di Artificial Intelligence nella gestione costiera.

Verifiche dell'attività svolta

Si prevede che il titolare dell'incarico esponga al tutore con cadenza mensile lo stato di avanzamento delle proprie ricerche. Entro l'anno di fruizione dell'incarico il titolare dovrà predisporre un articolo a rivista internazionale.

Riferimenti bibliografici

- Boak, E.H., & Turner, I.L., 2005. Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 688–703.
- Castelle, B., Goldstein, E.B., & Coco, G., 2021. The future of coastal morphodynamics modelling: integrating machine learning and physics-based approaches. *Earth Surface Processes and Landforms*, 46(1), 1–16.
- Cowell, P.J., Roy, P.S., & Jones, R.A., 2003. Simulation of large-scale coastal change using a morphological behaviour model. *Marine Geology*, 126(1–4), 45–61.
- Dean, R.G., & Dalrymple, R.A., 2002. *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- Goldstein, E.B., Coco, G., & Plant, N.G., 2019. A review of machine learning applications to coastal sediment transport and morphodynamics. *Earth-Science Reviews*, 194, 97–108.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A., 2016. *Deep Learning*. MIT Press.
- Hanson, H., Larson, M., & Kraus, N.C., 2010. Calculation of beach change under interacting cross-shore and longshore processes. *Coastal Engineering*, 57(6–7), 610–619.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G., 2015. Deep learning. *Nature*, 521, 436–444.
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., & Aarninkhof, S., 2018. The state of the world's beaches. *Scientific Reports*, 8, 6641.
- Montaño, J., Coco, G., Antolínez, J.A.A., Beuzen, T., Goldstein, E.B., & Bryan, K.R., 2020. Blind testing of shoreline evolution models. *Scientific Reports*, 10, 2137.
- Nicholls, R.J., & Cazenave, A., 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517–1520.
- Vos, K., Splinter, K.D., Harley, M.D., Simmons, J.A., & Turner, I.L., 2019. CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104528.

Vousdoukas, M.I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T.A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., & Feyen, L., 2020. Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, 10, 260–263.