

Sistema di monitoraggio multidisciplinare per una gestione resiliente delle aree costiere - Multi-disciplinary monitoring system for a resilient management of coastal areas



Attività 3.2: Sviluppo di un sistema di ortogonalizzazione delle immagini - Output 3.1 - Deliverable 3.2.1

Test sulle Immagini processate con il software di ortogonalizzazione

Sistema di monitoraggio multidisciplinare per una gestione resiliente delle aree costiere - Multi-disciplinary monitoring system for a resilient management of coastal areas

Attività 3.2: Sviluppo di un sistema di ortogonalizzazione delle immagini - Output 3.1 - Deliverable 3.2.1

Test sulle Immagini processate con il software di ortogonalizzazione

Partner responsabile:

- Università degli Studi di Catania – Coord. Prof. L. Cavallaro

Dicembre 2023

Sommario

Elenco delle Figure	2
Elenco delle Tabelle.....	3
Premessa	4
Analisi della letteratura tecnica-scientifica	4
Individuazione di un algoritmo di ortogonalizzazione di immagini oblique in ambito costiere	11
Adattamento dell'algoritmo alle necessità dell'attività di ricerca	12
Applicazione dell'algoritmo al caso della spiaggia di Marza (Ispica).....	12
Bibliografia	17

Elenco delle Figure

Figura 1	Immagine di un pacchetto d'onde interne nello Stretto di Georgia, BC, Canada, ripresa da un aereo a un'altitudine di 480 m.....	7
Figura 2	Immagine acquisita della telecamera 1 rivolta verso Ovest	13
Figura 3	Immagine acquisita della telecamera 2 rivolta verso Est	13
Figura 4	Punti di rilievo topografico.....	14
Figura 5	Area di restituzione delle immagini del test di ortogonalizzazione.....	15
Figura 5	Immagine di verifica fornita dal codice di calcolo	16
Figura 6	Immagine ortogonalizzata	16

Elenco delle Tabelle

Tabella 1	Punti di rilievo topografico.....	14
-----------	-----------------------------------	----

Premessa

Nell'ambito del Progetto REMACO "Sistema di monitoraggio multidisciplinare per una gestione resiliente delle aree costiere - Multi-disciplinary monitoring system for a resilient management of coastal areas" è stato sviluppato un modello per la ricostruzione delle linee di riva da riprese video.

In tale contesto sono state condotte identificate le seguenti:

- Analisi della letteratura tecnica-scientifica sull'argomento;
- Individuazione di un algoritmo di ortogonalizzazione di immagini oblique in ambito costiere;
- Adattamento dell'algoritmo alle necessità dell'attività di ricerca;
- Applicazione dell'algoritmo al caso della spiaggia di Marza (Ispica) per una superficie superiore a 16.000 m².

Nel seguito si descrivono nel dettaglio le sopra elencate attività.

Analisi della letteratura tecnica-scientifica

Gli studi oceanografici sugli estuari e sulle acque costiere sono spesso complessi a causa dell'elevato grado di variabilità spaziale e temporale presente. Una tipica serie temporale contiene processi su un'ampia varietà di scale temporali, dal flusso di estuario guidato dalla densità, ai processi di marea ragionevolmente deterministici, alle caratteristiche intermittenti turbolente e delle onde interne. Molti di questi sono coerenti su scale spaziali piuttosto ampie; cioè, riflettono cambiamenti su larga scala nel modello di flusso (e non semplicemente turbolenze isotrope su scala metro). Tuttavia, identificare la natura di questa coerenza e ottimizzare il lavoro sul campo per osservarla adeguatamente è, nella migliore delle ipotesi, difficile, poiché richiede una conoscenza approfondita delle acque locali, e, nel peggiore dei casi, impossibile. In genere è difficile sapere (o addirittura prevedere) in che misura le misurazioni effettuate da una posizione fissa o da una singola piattaforma siano rappresentative delle acque circostanti.

D'altra parte, tali regioni contengono una ricchezza di fenomeni fisici e biologici interessanti e importanti il cui studio può essere effettuato con uno sforzo logistico relativamente modesto se applicato correttamente. Una semplice tecnica di visualizzazione del campo di moto che potrebbe aiutare a identificare modelli di flusso su larga scala completerebbe e aumenterebbe notevolmente

le informazioni disponibili dalle tecniche di osservazione standard basate su navi o su strutture ormeggiate, consentendo loro di essere collocate in un contesto utile. Fortunatamente, queste acque sono spesso relativamente poco profonde e il campo di moto posto al di sotto della superficie libera è molte volte associato ad una forte espressione superficiale. Un qualche tipo di immagine superficiale sembra essere un candidato ovvio per tale tecnica di visualizzazione.

Tuttavia, questa non è l'unica motivazione alla base dell'acquisizione di immagini oblique della superficie. Ogni oceanografo d'alto mare passa il tempo a fissare la superficie dell'acqua. Accade spesso, soprattutto durante i mari calmi, che l'acqua non abbia una tonalità uniforme, ma abbia un colore, una ruvidità percepita e persino una lucentezza che varia da luogo a luogo all'interno di un campo visivo [1]. Alcuni di questi cambiamenti sono ovviamente dovuti a cambiamenti nell'illuminazione incidente (ad esempio, il colore della luce riflessa dalle colline, dalle nuvole o dal cielo), ma anche dopo aver tenuto conto di tali differenze potrebbe esserci una variabilità su scala molto ridotta.

Poiché la superficie dell'oceano è la parte dell'oceano più accessibile ai nostri sensi senza aiuto e la sua fisica è importante per i processi di interazione aria-mare, le sue caratteristiche ed evoluzione sono di per sé interessanti. Purtroppo, non sempre il ponte di una nave è il luogo ideale per studiare tali fenomeni. L'estensione spaziale e la scala sono difficili da giudicare su una superficie d'acqua altrimenti indifferenziata una volta che gli angoli di visuale si trovano entro pochi gradi dall'orizzonte e anche l'evoluzione di queste caratteristiche è difficile da discernere, poiché cambiano anche su scale temporali da minuti a ore. Lungo perché l'occhio possa percepirlo, ma troppo corto per le osservazioni "sinottiche" delle navi. Forse sorprendentemente, anche l'osservazione aerea dall'alto non è uno strumento ideale se non nella direzione del riflesso speculare del sole. Sebbene siano state utilizzate anche immagini video verticali aeree, ad esempio per studiare le grandi bolle generate dal flusso sul fondo del poco profondo Mare del Nord [2], molte caratteristiche della superficie non sono visibili ad angoli di visione quasi verticali. Inoltre, mentre i sorvoli a bassa quota producono immagini solo su regioni molto piccole (con larghezze di banda non superiori a poche centinaia di metri), le osservazioni aeree ad alta quota che possono coprire un'area più ampia sono spesso influenzate dalle nuvole.

È anche possibile l'imaging spaziale ad alta risoluzione, ma di solito in tempi scomodi e molto distanziati. Sebbene esistano molte forme di analisi per le quali questo non rappresenta necessariamente un problema [3]–[5], gli studi sull'evoluzione delle caratteristiche in generale

trarrebbero vantaggio dalle informazioni sulle serie temporali. Talvolta tali informazioni possono essere ottenute dai radar costieri, che vengono utilizzati per visualizzare la rappresentazione superficiale di caratteristiche significative come le onde interne [6], ma tali studi comportano costi e sforzi significativi. Sistemi di imaging visivo più semplici sono stati utilizzati da un certo numero di ricercatori per studiare le dinamiche del surf e del trasporto dei sedimenti vicino alla costa [7]–[10]. In quel lavoro, sono stati utilizzati sistemi di videocamere montate a terra per produrre immagini rettificate della zona di surf su scale temporali da minuti ad anni. Generalmente, il contrasto visivo tra terra, acqua e onde che si infrangono è abbastanza grande che anche la scarsa qualità di un'immagine video è sufficiente per ottenere risultati utili. Recentemente è stato sviluppato anche un sistema di imaging digitale ad angolo obliquo in volo [11]. Questo sistema è progettato per riprendere sezioni di costa su scala chilometrica per periodi di pochi minuti; la serie temporale di immagini risultante viene elaborata utilizzando la dispersione nota delle onde superficiali per dedurre la profondità dell'acqua. Qui viene descritto un semplice sistema che è stato sviluppato per la visualizzazione del flusso su scale spaziali di pochi chilometri e scale temporali da poche decine di minuti fino ai periodi di marea. Si è scoperto che i sottili cambiamenti nell'ombreggiatura superficiale, che appaiono in risposta a movimenti interni o per l'avvezione di pellicole superficiali, possono essere monitorati in questo modo. È stata osservata una varietà inaspettata di processi fisici, tra cui la propagazione delle onde interne e frontali, le bolle turbolente e i modelli mutevoli del flusso delle maree.

In questo articolo vengono discussi innanzitutto i fenomeni fisici che causano cambiamenti nell'aspetto della superficie dell'acqua. Viene spiegata la filosofia di base “economica e leggera” e vengono delineati i suoi effetti sulla scelta dell'attrezzatura. In terzo luogo, vengono sviluppate le basi matematiche del raddrizzamento fotogrammetrico con applicazione specifica agli angoli di visione altamente obliqui utilizzati. Infine, l'utilità di questo sistema viene illustrata discutendo le osservazioni di diversi fenomeni oceanografici.

La superficie delle acque costiere può apparire molto diversa in molte situazioni; non tutta (o nemmeno gran parte) di questa variazione è dovuta a cambiamenti nelle correnti della colonna d'acqua. In ogni singola immagine, la corretta identificazione delle caratteristiche può essere molto difficile. Tuttavia, quando si visualizza un'animazione time-lapse, le diverse velocità di evoluzione e propagazione solitamente rendono l'interpretazione delle immagini molto meno ambigua. È importante sottolineare che la maggior parte delle caratteristiche rilevanti qui sono piuttosto sottili,

costituite da lievi cambiamenti nell'ombreggiatura o nella luminosità, ed è necessario un significativo miglioramento dell'immagine per metterne in risalto i dettagli. Molti dei punti della discussione seguente sono dimostrati nell'immagine mostrata in Figura 1.



Figura 1 Immagine di un pacchetto d'onde interne nello Stretto di Georgia, BC, Canada, ripresa da un aereo a un'altitudine di 480 m.

Consideriamo innanzitutto una superficie d'acqua perfettamente piatta, lontana dalla terra, sotto un cielo senza nuvole. L'aspetto dell'acqua percepito da un osservatore sopra la superficie dell'acqua è composto da una miscela della luce del cielo riflessa specularmente (che domina ad angoli molto bassi, cioè vicino all'orizzonte) e della luce che viene restituita dopo essere stata diffusa nell'acqua colonna (che domina ad angoli quasi verticali). La luce riflessa specularmente proverrà da diverse parti del cielo, che anche in condizioni senza nuvole non è illuminato in modo uniforme. Invece, è più scuro (e più blu) se si guarda verticalmente verso l'alto e più luminoso (e più bianco) vicino all'orizzonte, a causa della maggiore profondità ottica in quella direzione [1]. L'aspetto dell'acqua varierà quindi uniformemente nel campo visivo. Potrebbe anche esserci una macchia luminosa direttamente sotto il sole risultante dalla riflessione speculare della sua luce, forse circondata da un'area luminosa più confusa risultante dalla luce debolmente diffusa dall'atmosfera. Una variazione

graduale della luminosità è visibile chiaramente in Fig. 1. Le parti superiori di questa figura (ad angoli di inclinazione minori) sono molto più luminose delle parti inferiori.

Questa variazione può rendere difficile l'impostazione dell'esposizione corretta per l'intera immagine. Spesso parte dell'immagine apparirà molto scura mentre altre regioni potrebbero risultare sbiadite. In realtà l'acqua non è quasi mai piatta. Le onde superficiali possono essere di grandi dimensioni rispetto alla risoluzione dell'occhio o della fotocamera, nel qual caso danno origine a evidenti schemi d'onda nell'immagine.

immagine in quanto le pendenze variabili cambiano la posizione della sorgente di luce riflessa, oppure possono essere piccole, nel qual caso si percepisce un effetto "livellato" su larga scala. Una zona d'acqua ruvida apparirà solitamente più scura di una zona liscia perché i suoi pendii inclinati riflettono la luce da un punto più vicino alla verticale (un'eccezione può verificarsi in prossimità del punto speculare del sole). Le zone più ruvide sono viste come striature curve nella parte superiore della Figura 1. Il grado di livellamento e la sua estensione spaziale varieranno ovviamente in base a molti fattori. In un limite "perfettamente ruvido" sotto venti forti, potrebbero non esserci variazioni spaziali evidenti, tranne forse vicino al punto di riflessione speculare del sole dove apparirà una massa di puntini "luccicanti". Con il passare del tempo e il movimento del sole nel cielo, questo ampio schema cambierà anche in grandezza e posizione. Con venti deboli sono spesso presenti variazioni spaziali più localizzate nell'aspetto della superficie.

Tale variabilità su scala ridotta può derivare da una varietà di fonti. Innanzitutto, la fonte luminosa può presentare forti variazioni di intensità e colore. L'acqua davanti alle isole apparirà spesso più scura a causa del riflesso della vegetazione, ma potrebbe anche essere più chiara se le isole sono rocciose o coperte di edifici. La topografia influenzerà il modello di questo cambiamento di ombreggiatura, ma questi modelli tendono ad essere relativamente costanti nel tempo. Le nuvole possono modificare l'illuminazione ambientale in modi che variano nel tempo. Sebbene le giornate limpide possano fornire la migliore "visione" (a seconda della posizione del sole) con i colori blu più vividi dell'acqua, anche le giornate con un cielo poco nuvoloso si sono rivelate sorprendentemente utili, poiché l'illuminazione varia nuovamente uniformemente dall'alto all'orizzonte. Le nuvole spesse, d'altro canto, spesso forniscono un'illuminazione relativamente uniforme che riduce i contrasti. La superficie dell'acqua diventa uniforme nell'ombra. Una nuvola spezzata è molto problematica perché i cambiamenti di illuminazione non sono più spazialmente uniformi, causando apparenti variazioni nel colore della superficie. Le nubi scure basse danno come risultato acque

corrispondentemente più scure nella direzione speculare, che tendono a produrre aree scure allungate nelle foto che appaiono come “raggi” nelle immagini rettificate. Questi raggi possono ruotare attorno alla posizione della telecamera in senso orario o antiorario, a seconda dei movimenti delle nuvole. Le nuvole più piccole e più alte possono produrre ombre sull'acqua. La maggior parte degli effetti delle nuvole di solito non sono "simili all'acqua" nelle animazioni rettificate fotogrammetricamente (cioè producono caratteristiche che avanzano attraverso le coste, o a velocità molto maggiori di quanto ci si può aspettare dalla dinamica della colonna d'acqua, o in un modo ovviamente correlato alla geometria di visualizzazione) e possono essere riconosciuti, soprattutto se le immagini originali (non rettificate) vengono esaminate per individuare eventuali tracce di nuvole.

La seconda e più utile fonte di variabilità deriva da cambiamenti su piccola scala nelle proprietà delle acque superficiali. Questi possono derivare da cambiamenti nella natura della superficie dell'acqua e anche in risposta a variazioni di flusso all'interno della colonna d'acqua.

La superficie dell'acqua spesso non è “pulita”, ma supporta invece pellicole superficiali di oli naturali o industriali [12]. Questi film smorzano le onde capillari su piccola scala e hanno bordi ben definiti che appaiono come cambiamenti nella riflettanza a velocità del vento inferiori a circa 5 m/s e possono coprire fino al 40% della superficie dell'oceano a velocità del vento inferiori a 2,5 m/s [13]. L'acqua liscia è spesso più luminosa dell'acqua increspata vicina, poiché riflette la luce del cielo più vicino all'orizzonte. Questo può cambiare a seconda della posizione del sole, della terra vicina, delle variazioni della copertura nuvolosa, ecc. Tali caratteristiche tenderanno ad essere avvolte con le correnti ambientali e nelle sequenze di animazione producono uno schema di flusso facilmente distinguibile. Ciò può essere utile per identificare cambiamenti su larga scala come il vortice dell'acqua durante le transizioni del flusso di marea dal riflusso alla piena in momenti diversi attraverso parte di un estuario.

La variabilità interna può anche modificare le proprietà della superficie. Le bolle turbolente sono particolarmente evidenti. Questi sono costituiti da un'ampia regione centrale di risalita, solitamente liscia, circondata da sottili strati di discesa con ripide onde increspate di dimensioni variabili da 1 a 100 cm di altezza, a seconda della forza della turbolenza. Le bolle si verificano nell'acqua non stratificata dei fiumi e possono verificarsi anche in regioni di intenso mescolamento di acqua stratificata (zone di separazione del flusso, a valle dei davanzali, ecc.). Le onde interne sono un'altra fonte di variabilità superficiale. Questo collegamento è stato riconosciuto in alcune delle prime

osservazioni delle onde interne [14], [15] ed è ancora sfruttato, solitamente in modo qualitativo [16]. Considera un'onda interna di depressione all'interfaccia di un fluido superiore sottile e un fluido inferiore più spesso (come in Fig. 1). Sul bordo anteriore di questa onda, le acque superiori stanno convergendo e discendendo. Sul bordo d'uscita, le acque divergono e risalgono. L'acqua nella regione convergente è spesso più agitata. Se le onde interne sono grandi, le onde superficiali nella regione convergente potrebbero addirittura rompersi, producendo schiuma bianca. I detriti galleggianti possono essere trascinati nel fronte d'onda principale di un pacchetto di grandi dimensioni. Sebbene chiaramente visibili ad angoli molto obliqui, tali onde interne possono essere viste anche ad angoli di visione più ripidi, sia attraverso la riflessione speculare del sole, sia perché l'acqua negli strati fluidi superiori e inferiori è otticamente diversa (nel colore o nella trasmissività). Nella parte superiore della Fig. 1, la luce riflessa dalla superficie domina e il bordo anteriore delle onde interne vicine alla superficie appare come una linea scura a causa della ruvidità su piccola scala nella convergenza e nella discesa che si verifica lì. I bordi d'uscita sono più luminosi.

In questo caso, la larghezza dei bordi anteriore e posteriore appare diversa, sebbene le osservazioni sulla colonna d'acqua suggeriscano che le onde stesse siano ragionevolmente simmetriche. Altre osservazioni di queste onde mostrano che la visibilità di questa rugosità del bordo anteriore è relativamente insensibile alla direzione di osservazione fintanto che l'angolo di inclinazione è piccolo. (Al contrario, le grandi onde superficiali prodotte nelle scie delle navi sono spesso invisibili se osservate lungo le loro creste.) Nella parte inferiore della figura, l'aspetto dell'acqua è controllato dalla luce riflessa piuttosto che dalla superficie e le onde appaiono come di colore chiaro linee. I cambiamenti di colore derivano dalle variazioni di spessore dello strato superiore torbido. Un modello d'onda superficiale è appena risolto nella parte inferiore della Figura 1, con le creste delle onde allineate dal centro sinistra verso il basso a destra. In questo momento c'era poco vento e solo onde molto deboli.

Nel complesso, l'esperienza suggerisce che se la variabilità è visibilmente presente, allora attraverso l'imaging si può vedere qualcosa di interessante. Tuttavia, i processi fisici responsabili della variabilità vengono spesso identificati solo successivamente esaminando le sequenze time-lapse rettificate. Inoltre, l'occhio è molto più bravo a distinguere queste sottili caratteristiche rispetto a un sistema di telecamere; in alcuni casi, è necessario compiere sforzi considerevoli per estrarre adeguatamente le caratteristiche rilevanti dalle immagini.

Individuazione di un algoritmo di ortogonalizzazione di immagini oblique in ambito costiere

La georettifica delle immagini è stata ottenuta utilizzando il pacchetto "g_rect" per Matlab (Pawlowicz, 2003), che risolve l'equazione geometrica per ogni pixel dell'immagine: i parametri di orientamento esterno definiscono la posizione della telecamera nello spazio reale, il loro calcolo permette di stabilire la relazione geometrica tra le coordinate dell'immagine (u, v) e le coordinate spaziali (x, y, z). I parametri che definiscono la geometria esterna di un sistema di telecamere sono definiti da tre valori angolari: azimuth (u), inclinazione (τ) e rollio (σ). La relazione tra le coordinate dell'immagine (u, v) e le coordinate spaziali (x, y, z) è formalizzata da una serie di coefficienti lineari (1, 2):

$$u = \frac{L1xL2yL3zL4}{L9xL10yL11z1} \quad (1) \quad \text{and} \quad v = \frac{L5xL6yL7zL8}{L9xL10yL11z1} \quad (2)$$

L1 – L11 sono funzioni lineari di sette variabili che rappresentano la posizione del sistema di videomonitoraggio ef (focale effettiva):

$$\begin{aligned} L &= -(x_c m_{31} + y_c m_{32} + z_c m_{33}) & L_6 &= \frac{(v_0 m_{32} + f m_{22})}{\lambda_v L} \\ L_1 &= \frac{(u_0 m_{31} + f m_{11})}{(\lambda_u L)} & L_7 &= \frac{(v_0 m_{33} + f m_{23})}{\lambda_v L} \\ L_2 &= \frac{(u_0 m_{32} + f m_{12})}{(\lambda_u L)} & L_8 &= -(L_8 x_c + L_9 v_c + L_{10} z_c) \\ L_3 &= \frac{(u_0 m_{33} + f m_{13})}{(\lambda_u L)} & L_9 &= \frac{m_{31}}{L} \\ L_4 &= (L_1 x_c + L_2 y_c + L_3 z_c) & L_{10} &= \frac{m_{32}}{L} \\ L_5 &= \frac{(v_0 m_{31} + f m_{21})}{\lambda_v L} & L_{11} &= \frac{m_{33}}{L} \end{aligned} \quad (3)$$

Il coefficiente m descrive le rotazioni: azimuth (u), inclinazione (τ) e rollio (σ) (4):

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos\phi \cos\sigma + \sin\phi \cos\tau \sin\sigma & m_{23} &= \sin\tau \cos\sigma \\ m_{12} &= -\sin\phi \cos\sigma + \cos\phi \cos\tau \sin\sigma & m_{31} &= \sin\phi \sin\tau \\ m_{13} &= \sin\tau \sin\sigma & m_{32} &= \cos\phi \sin\tau \\ m_{21} &= -\cos\phi \sin\sigma + \sin\phi \cos\tau \cos\sigma & m_{33} &= -\cos\tau \\ m_{22} &= \sin\phi \sin\sigma + \cos\phi \cos\tau \cos\sigma \end{aligned} \quad (4)$$

Con le coordinate spaziali (x, y, z) di almeno tre punti di controllo a terra di cui si conoscono le coordinate immagine (u, v), è possibile risolvere le variabili (parametri della geometria esterna).

Con tali variabili è possibile georeferenziare le immagini con le equazioni (5):

$$\begin{bmatrix} L_1 - L_9u & L_2 - L_{10}u & L_3 - L_{11}u \\ L_5 - L_9v & L_6 - L_{10}v & L_7 - L_{11}v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v-L \\ v-L_8 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Uno script MatLab (Pawlowicz R., 2003) risolve l'equazione per ciascun pixel dell'immagine. Le immagini risultanti sono state analizzate con un software GIS per mappare le posizioni della linea costiera durante, misurare il livello del mare, il tasso di accrescimento e lo stato morfodinamico.

Adattamento dell'algoritmo alle necessità dell'attività di ricerca

Lo script Matlab sviluppato da Pawlowicz (2003) consente di effettuare la ortogonalizzazione di singole immagini. Tuttavia, è stato necessario modificare lo stesso al fine di consentire la lettura delle immagini fornite dalle telecamere installate nel sito di sperimentazione e di effettuare una conversione massiva delle immagini.

Applicazione dell'algoritmo al caso della spiaggia di Marza (Ispica)

Nell'ambito del Progetto Nearshore monitoring and Early Warning System - NEWS finanziato nell'ambito del programma INTERREG V-A Italia- Malta, fu installata una coppia di telecamere per l'acquisizione di immagini della spiaggia di Marza in comune di Ispica.

La Figura 2 e la Figura 3 illustrano due immagini riprese dalle citate telecamere.



Figura 2 Immagine acquisita della telecamera 1 rivolta verso Ovest



Figura 3 Immagine acquisita della telecamera 2 rivolta verso Est

Al fine di applicare l'algoritmo di ortogonalizzazione è stato effettuato un rilievo topografico di alcuni elementi chiaramente identificabili nelle citate riprese fotografiche.

La Figura 4 illustra i punti di rilievo mentre la Tabella 1 riporta le coordinate degli stessi punti.



Figura 4 Punti di rilievo topografico

Tabella 1 Punti di rilievo topografico

ID Rilievo	X_Est [m]	Y_Nord [m]	Quota [m s.l.m.m.]
1000	2516653.065	4061087.039	4.41
1001	2516681.765	4061085.705	4.334
1003	2516711.102	4061083.226	4.155
1004	2516732.867	4061081.064	4.063
1005	2516741.988	4061080.613	4.219
1006	2516773.370	4061077.669	3.973
1015	2517027.340	4061045.065	4.989
1017	2517015.439	4061032.652	2.08
1023	2516627.022	4061087.046	4.31
1024	2516596.715	4061085.569	4.47
1026	2516566.113	4061084.392	4.03
1028	2516559.643	4061073.628	3.97
1030	2516537.016	4061081.803	4.10
1031	2516505.698	4061080.204	4.11
1032	2516475.742	4061078.455	3.88
1033	2516445.318	4061075.993	4.01
1041	2516310.455	4061043.213	1.72
1042	2516303.098	4061028.969	1.51

Mediante un apposito script in linguaggio Matlab, appositamente redatto, per diverse immagini di riferimento di ogni telecamera sono state acquisite le coordinate in pixel degli stessi punti rilevati durante la campagna topografica sopra riportata. La necessità di rilevare le coordinate immagini di più immagini rilevata dalla stessa telecamera è sorta in quanto a seguito di interventi di manutenzione le telecamere hanno subito leggeri spostamenti e pertanto le coordinate “immagine” sono corrispondenti solo a gruppi.

Le coordinate in pixel e geografiche dei punti di calibrazione sono stati inseriti nel file di input del processo di calibrazione unitamente ai valori di stima delle caratteristiche delle telecamere (altezza sul livello del mare, angolo di orizzonte, angolo di tilt, etc.).

L’area di restituzione delle immagini del test di ortogonalizzazione copre una superficie pari a oltre 36000 mq (vedere Figura 5).



Figura 5 Area di restituzione delle immagini del test di ortogonalizzazione

La Figura 6 mostra un esempio di immagine di verifica fornita dallo script per il controllo della corrispondenza dei punti rilevati all'interno dell'immagine.

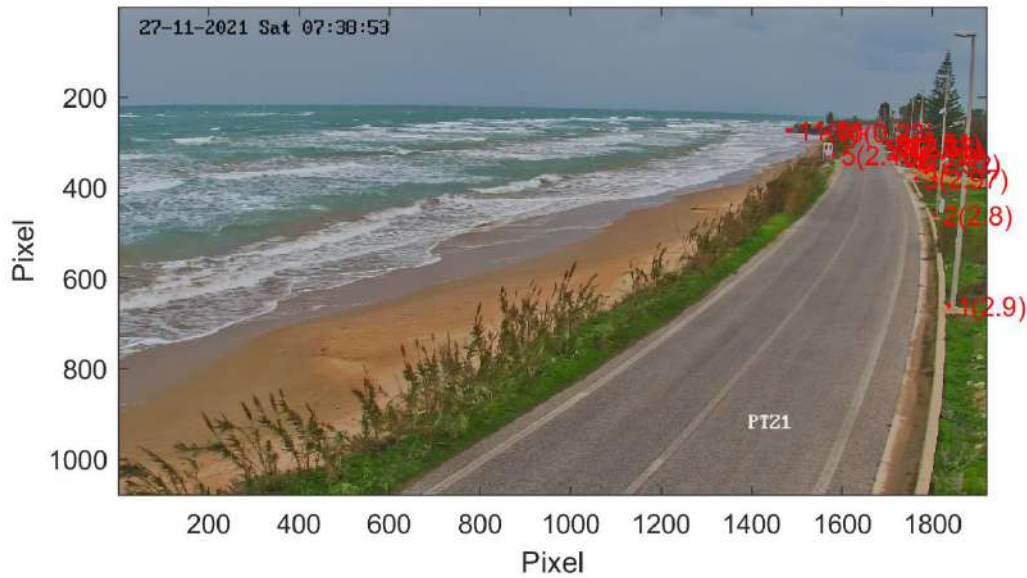


Figura 6 Immagine di verifica fornita dal codice di calcolo

La Figura 7 illustra il risultato dell'ortogonalizzazione di un'immagine.

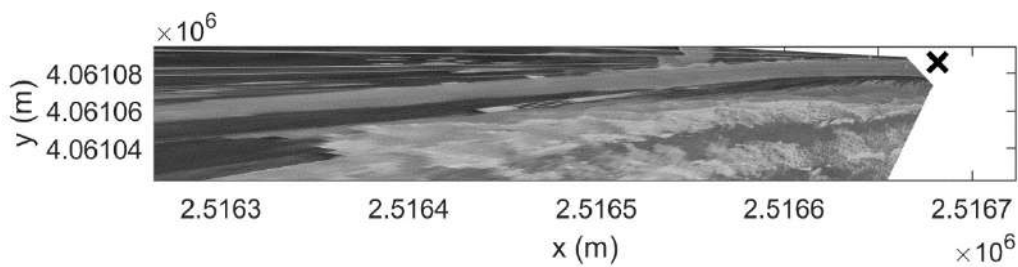


Figura 7 Immagine ortogonalizzata

Lo script fornisce anche un file in formato mat contenente i parametri di ortogonalizzazione.

Per ogni gruppo di immagini omogenee è stato applicato un ulteriore script matlab che applica i parametri di trasformazione a tutte le immagini “omogenee” creando file geotiff che possono essere direttamente inseriti in ambiente GIS, in cui è possibile effettuare i rilievi delle immagini.

Bibliografia

- [1] D. K. Lynch and W. Livingston, *Color and Light in Nature*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1995.
- [2] W. A. M. Nimmo-Smith, S. A. Thorpe, and A. Graham, “Surface effects of bottom-generated turbulence in a shallow tidal sea,” *Nature*, vol. 400, pp. 251–254, 1999.
- [3] W. Munk, L. Armi, K. Fischer, and F. Zachariasen, “Spirals on the sea,” in *Proc. R. Soc. Lond. A, Math Phys. Sci.*, vol. 456, 2000, pp. 1217–1280.
- [4] V. Artale, D. Levi, S. Marullo, and R. Santoleri, “Analysis of nonlinear internal waves observed by landsat thematic mapper,” *J. Geophys. Res.*, vol. 95, no. C9, pp. 16 065–16 073, 1990.
- [5] A. K. Liu, Y. S. Chang, M. K. Hsu, and N. K. Liang, “Evolution of nonlinear internal waves in the East and South China Seas,” *J. Geophys. Res.*, vol. 103, no. C4, pp. 7995–8008, 1998.
- [6] R. A. Kropfli, L. A. Ostrovski, T. P. Stanton, E. A. Skirta, A. N. Keane, and V. Irisov, “Relationships between strong internal waves in the coastal zone and their radar and radiometric signatures,” *J. Geophys. Res.*, vol. 104, no. C2, pp. 3133–3148, 1999.
- [7] T. C. Lippman and R. A. Holman, “Quantification of sand bar morphology: A video technique based on wave dissipation,” *J. Geophys. Res.*, vol. 94, no. C1, pp. 995–1011, 1989.
- [8] K. T. Holland, R. A. Holman, T. C. Lippman, J. Stanley, and N. Plant, “Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies,” *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. 22, pp. 81–92, Jan. 1997.
- [9] H. F. Stockdon and R. A. Holman, “Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery,” *J. Geophys. Res.*, vol. 105, no. C9, pp. 22 015–22 033, 2000.
- [10] B. D. Morris, M. A. Davidson, and D. A. Huntley, “Measurements of the response of a coastal inlet using video monitoring techniques,” *Mar. Geol.*, vol. 175, pp. 251–272, 2001. [11] J. P. Dugan, G. J. Fetzer, J. Bowden, G. J. Farrugia, J. Z. Williams, C. C.

Piotrowski, K. Vierra, D. Campior, and D. N. Sitter, "Airborne optical system for remote sensing of ocean waves," *J. Atmos. Ocean. Technol.*, vol. 18, no. 7, pp. 1267–1276, 2001.

[12] R. D. Pfeltzer, O. M. Griffin, W. R. Barger, and J. A. C. Kaiser, "High-resolution measurement of surface-active film redistribution in ship wakes," *J. Geophys. Res.*, vol. 97, no. C4, pp. 5231–5252, 1992.

[13] H. A. Espedal, O. M. Johannessen, J. A. Johannessen, E. Dano, D. R. Lyzenga, and J. C. Knulst, "COASTWATCH'95: ERS 1/2 SAR detection of natural film on the ocean surface," *J. Geophys. Res.*, vol. 103, no. C11, pp. 24 969–24 982, 1998.

[14] G. Ewing, "Relationship between band slicks at the surface and internal waves in the sea," *Sci.*, vol. 111, pp. 91–94, 1950.

[15] J. A. Shand, "Internal waves in Georgia Strait," *Trans. Amer. Geophys. Union*, vol. 34, no. 6, pp. 849–856, 1953.