

## Rilievo SAPR e valutazione stato di conservazione dei cordoni di protezione in Laguna di Venezia

Irene D'Urso <sup>(a)</sup>, Diego Tramontin <sup>(b)</sup>, Valerio Volpe <sup>(c)</sup>, Giuseppe Barusolo <sup>(d)</sup>,  
Stefano Libardo <sup>(d)</sup>

<sup>(a)</sup> Thetis S.p.A., Castello 2737/f - 30122 Venezia tel: +39 041 2406111, fax: +39 041 5210292, e-mail: [irene.durso@thetis.it](mailto:irene.durso@thetis.it)

<sup>(b)</sup> Groma sc, via Sauro 16 San Vendemiano (TV), tel: +39 0434 036660, e-mail: [info@gromasurvey.com](mailto:info@gromasurvey.com) [diegotramontin@gromasurvey.com](mailto:diegotramontin@gromasurvey.com)

<sup>(c)</sup> Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche del Veneto – Trentino alto adige – Friuli Venezia Giulia, San Polo 19, 30125 Venezia, tel: +39 041794490, fax: +39 041794472, e-mail: [valerio.volpe@mit.gov.it](mailto:valerio.volpe@mit.gov.it)

<sup>(d)</sup> Consorzio Venezia Nuova, Castello 2737/f - 30122 Venezia, e-mail: [Stefano.Libardo@consorziovenezianuova.com](mailto:Stefano.Libardo@consorziovenezianuova.com)

### Introduzione e obiettivi dello studio

La società Thetis Spa è stata incaricata dal Consorzio Venezia Nuova, Concessionario del Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche Veneto-Trentino Alto Adige-Friuli Venezia Giulia, di eseguire un'attività di rilievi topografici e fotogrammetrici SAPR per l'aggiornamento dello stato delle protezioni lungo la conterminazione lagunare della Laguna di Venezia. Thetis si è avvalsa del contributo specialistico della società Groma sc, esperta in rilievi topografici con drone.

L'obiettivo del lavoro era quello di definire lo stato "zero" del sistema lagunare veneziano prima dell'avvio della gestione del sistema MOSE, in particolare verificando il rischio di possibili intrusioni di masse di acqua dall'esterno verso la Laguna, al di fuori delle attività alle bocche di porto. Quando il Sistema MOSE entrerà in funzione, infatti, si potrà garantire un livello di salvaguardia (ad oggi fissato in 110 cm sul riferimento del mareografo cittadino di Punta della Salute) internamente al bacino lagunare anche in presenza di acqua alta; grazie al Sistema MOSE saranno quindi interdetti i flussi d'acqua dal mare Adriatico in Laguna di Venezia ma altre intrusioni ed immissioni indesiderate ed impreviste potrebbero mettere a rischio l'obiettivo della salvaguardia idraulica. Oltre alla definizione delle quote di tutte le strutture di conterminazione della Laguna di Venezia, era richiesto di verificarne lo stato di conservazione documentando l'eventuale presenza di varchi, ammaloramenti che compromettessero la continuità della linea sommitale, altre anomalie o situazioni di criticità.

Il lavoro, svolto tra i mesi di giugno e settembre 2018, si è articolato in due attività distinte e contemporanee, che sono state precedute dalla definizione dell'inquadramento geodetico e alle quali è seguita una terza attività di calcolo del modello idraulico per la stima delle portate di acqua entranti nel bacino lagunare in condizioni estreme.

Si descrivono di seguito il metodo usato e i risultati ottenuti.

## Area di indagine

Il rilievo dei cordoni di protezione lagunare ha riguardato le seguenti strutture:

- le protezioni longitudinali dei litorali di Cavallino, Lido di Venezia, Pellestrina e Sottomarina;
- le parti delle radici dei moli foranei nei sopracitati litorali;
- gli argini in destra e sinistra idraulica dei fiumi Sile e Brenta;
- gli ulteriori argini di conterminazione della laguna.

Sono stati rilevati i cordoni di protezione con la soglia più alta, ad esempio il murazzo storico, la strada arginale, la strada lungo i litorali, le dune permanenti, indicando le informazioni generali sulla struttura rilevata, come per esempio se si trattava di muro paraonde, murazzo, duna o altro manufatto (quindi difesa morbida o rigida, o altra struttura che non ha come funzione primaria la difesa, come ad esempio un semplice rilevato stradale).

Si riporta, in Figura 1, una planimetria con la traccia della linea di conterminazione di progetto e la stima della sua lunghezza. Tale linea rappresenta la soglia più alta del cordone di protezione ed, in fase esecutiva, è stata confermata oppure ridefinita in base allo studio delle quote desunte dal DTM.



Tipologia	Lunghezza [km]
Argini	107.97
Banchine	26.57
Dighe	5.41
Murazzi	15.35
Spiagge	16.67
Sponde	16.48
Strade	31.47
Strade sterrate	9.91
Terreno incolto	8.15
<b>TOTALE</b>	<b>238.00</b>

Figura 1 - Planimetria con linea di conterminazione da studiare e tabella con stima della lunghezza lineare delle protezioni.

## Inquadramento geodetico

Preliminarmente alle campagne di rilievo aerofotogrammetrico, è stato definito e verificato l'inquadramento geodetico del lavoro.

Sono stati rilevati con il GPS in modalità RTK o NRTK tramite la connessione alle reti *Italpos* di *Leica Geosystems* e della Regione Veneto (entrambe solidali sistema di riferimento ufficiale nazionale ETRF2000(2008)) sia alcuni punti appartenenti sia alla rete ISES ERA dei capisaldi storicamente utilizzati dal CVN per realizzare tutte le opere di salvaguardia della laguna, che altri capisaldi

IGM95-ETRF2000 presenti in prossimità della linea di conterminazione da analizzare in questo lavoro. Si riportano in tabella i risultati del rilievo, espressi in coordinate Est e Nord Gauss-Boaga fuso Est, quota ellissoidica ETRF2000 e quota ortometrica, con il calcolo degli scarti su ciascuna coordinata.

1	2328987.368	5050219.30	47.60	2328987.31	5050219.24	47.64	4.03	0.05	0.05	-0.03
2	2325419.807	5049338.87	46.76	2325419.74	5049338.80	46.77	3.17	0.06	0.07	-0.01
3	2318674.224	5033977.87	45.99	2318674.19	5033977.81	45.96	2.60	0.04	0.06	0.03
4	2322524.908	5037408.66	46.01	2322524.85	5037408.62	46.02	2.61	0.06	0.04	-0.01
5	2330627.790	5040468.10	44.92	2330627.75	5040468.05	44.91	1.49	0.04	0.05	0.01
6	2333502.467	5042573.64	45.28	2333502.42	5042573.58	45.29	1.84	0.05	0.06	0.00
7	2335719.565	5045183.81	45.52	2335719.51	5045183.76	45.51	2.04	0.06	0.05	0.02
8	2331700.996	5046695.31	45.82	2331700.93	5046695.25	45.81	2.29	0.06	0.06	0.01
11	2319728.325	5048389.60	44.64	2319728.26	5048389.56	44.64	1.02	0.06	0.04	0.00
13	2297248.658	5012120.70	48.59	2297248.60	5012120.64	48.58	5.47	0.05	0.06	0.01
15	2295038.351	5020377.05	45.34	2295038.29	5020376.99	45.36	2.00	0.06	0.07	-0.02
17	2292402.693	5027848.23	50.25	2292402.64	5027848.16	50.23	6.64	0.05	0.06	0.02
18	2300085.096	5032807.39	45.00	2300085.04	5032807.33	44.98	1.43	0.06	0.06	0.01
19	2301497.926	5035527.62	46.20	2301497.61	5035527.60	46.18	2.60	0.32	0.02	0.02
19/2	2301497.920	5035527.65	46.19	2301497.61	5035527.60	46.18	2.60	0.31	0.05	0.01
21	2308147.662	5015366.07	47.81	2308147.61	5015366.00	47.78	4.70	0.05	0.07	0.02
23	2309684.270	5023507.06	44.26	2309684.21	5023507.00	44.26	1.01	0.06	0.06	0.01
24	2309418.120	5024144.87	44.94	2309418.05	5024144.82	44.91	1.65	0.07	0.06	0.02
26	2314286.466	5031467.61	44.32	2314286.42	5031467.55	44.31	0.97	0.05	0.06	0.02

Figura 2 - Tabella dei capisaldi rilevati, in bianco quelli appartenenti alla rete del CVN ERA ed in grigio quelli appartenenti alla rete IGM95-ETRF2000

Nel complesso si può affermare che, nei limiti delle precisioni richieste da questo tipo di lavoro, i due sistemi si sono dimostrati coerenti sia dal punto di vista planimetrico, con scarti mediamente inferiori al centimetro, che dal punto di vista altimetrico, con scarti inferiori ai 5 cm. Lo scarto anomalo riscontrato sul punto 19, corrispondente al CSM\_00070 è certamente attribuibile ad uno spostamento del caposaldo intercorso nel tempo.

I rilievi eseguiti nell'ambito del presente lavoro (GCP e rilievi di dettaglio descritti in seguito), sono stati condotti con il GPS prevalentemente utilizzando la correzione di rete fornita dalla Regione Veneto o *Italpos* di *Leica Geosystems*, inquadrata nella RDN (Rete Dinamica Nazionale), la cui coerenza con i riferimenti storicamente utilizzati dal CVN (reti ISES-ERA) risulta accettabile, nell'ambito delle precisioni richieste da questo tipo di lavoro.

### Descrizione delle attività

Per l'esecuzione del rilievo fotogrammetrico SAPR dei cordoni di protezione, la conterminazione lagunare è stata suddivisa in 550 riquadri di lato 500m, per ognuno dei quali sono stati predisposti i seguenti elaborati:

- ortofoto digitale;
- modello digitale della superficie (DSM grezzo);
- modello digitale del terreno (DTM filtrato).

Sulla base della linea individuata nel progetto, la squadra di rilievo si recava sul campo e, prendendo visione della situazione locale, individuava il manufatto da rilevare e verificava l'accessibilità dello stesso per la lunghezza di una missione, ovvero un tratto di circa 1000 m.

In rispondenza alla normativa ENAC vigente in materia di volo SAPR, il pilota verificava eventuali limitazioni al volo quali aree interdette al volo da cartografia aeronautica, oppure *Notam* specifici.

Allo scopo di georiferire correttamente il blocco aerofotogrammetrico di prossima acquisizione, venivano individuati e rilevati, per ciascuna missione, circa 15 punti fotografici a terra, disposti lungo l'asse principale del successivo volo. Il numero e la tipologia di tali punti, detti GCP (*Ground Control Point*) variava in funzione della geometria del volo e della modalità di impostazione del GPS di bordo, nonché delle eventuali difficoltà di accesso alle aree.

Qualora non fossero presenti sul campo oggetti fisici utilizzabili come *target*, quali angoli di muretti, particolari di pavimentazioni o altri oggetti riconoscibili, sono stati posizionati dei *target* rimovibili oppure disegnate opportune mire a terra con vernice spray biodegradabile.

Posizionandosi nei pressi dell'asse del manufatto arginale da rilevare, il pilota delimitava un'area indisturbata per il decollo/atterraggio del mezzo e, come richiesto dalla normativa ENAC, procedeva alle verifiche pre-volo sul mezzo e sul corretto funzionamento dei sensori di bordo.

A verifiche ultimate, il pilota impostava la rotta di volo e la sequenza di immagini da riprendere.

Le configurazioni principali del volo sono schematizzate in Figura 3, salvo situazioni particolari dovute a difficoltà logistiche quali ostacoli in elevazione.

Una volta eseguite tutte le verifiche di sicurezza, il pilota avviava la missione di volo, della durata di circa 23 minuti, con la raccolta di circa 220 fotogrammi nadirali per ciascuna missione.

A questo punto, in ufficio, si elaboravano i dati GPS, per ottenere le triple di coordinate dei GCP tramite il software *Leica Geomatic Office*.

Seguiva la trasformazione in coordinate Gauss-Boaga con quota slmm tramite il software *Convergo* ed i grigliati di ondulazione del geoide editi da IGM, nella loro più recente versione GK2, e si otteneva il listato delle coordinate dei GCP rilevati.

Tramite il software *Agisoft Photoscan*, si importava la serie completa di fotogrammi, unitamente ai GCP, per procedere all'allineamento delle immagini e, tramite collimazione dei punti fotografici, alla triangolazione aerea del blocco fotogrammetrico.

Da questo punto in poi, il blocco fotogrammetrico risultava georiferito nel sistema di coordinate richiesto e si procedeva con la verifica degli scarti, ossia degli spostamenti operati dal software per compensare gli errori metrici presenti sui punti di coordinate note.

Successivamente si provvedeva, nell'ordine, all'elaborazione di:

*Sparse cloud*;

*Dense cloud*;

filtraggio della *Dense Cloud* per la pulizia di vegetazione e edifici;  
 Mesh;  
 DEM  
 Ortofoto.

Terminate le elaborazioni, circa 12 ore per ciascun blocco, si procedeva all'esportazione dei Modelli Digitali del terreno DSM e DTM con passo 10 cm in formato asc e dell'Ortofoto digitale in formato *GeoTiff* con risoluzione 3cm/pixel.

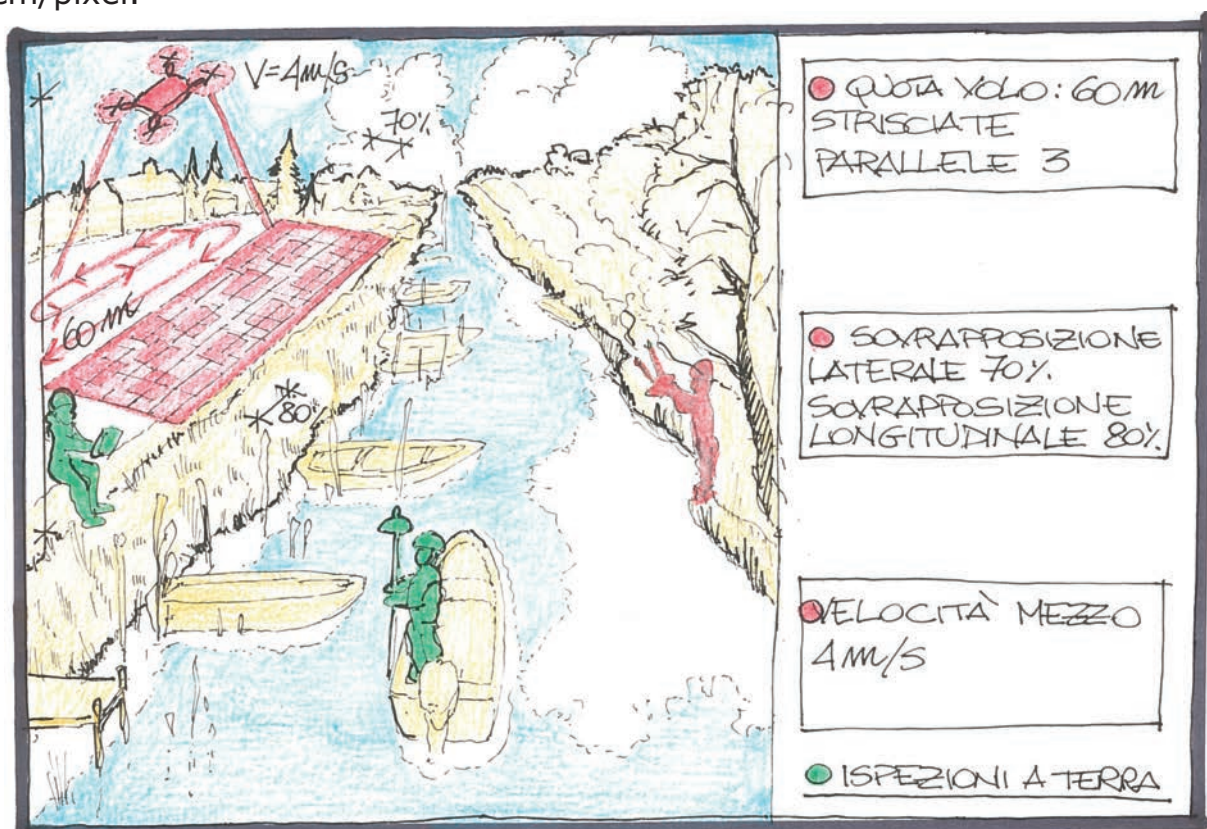


Figura 3 - Schizzo che rappresenta l'approccio integrato delle squadre impegnate nel rilievo SAPR con indicazione dei parametri del volo e nelle ispezioni per la valutazione dello stato di conservazione delle strutture. (Federico Scarpa)

Ad integrazione dei rilievi aerofotogrammetrici, è stata contestualmente eseguita una campagna di ispezioni visive della conterminazione lagunare per tutta la sua lunghezza.

Le operazioni sono state condotte da squadre di due operatori, dotate di GPS geodetico, fotocamera e schede di campo, che si muovevano in barca (sul Sile, l'Osellino, il Dese ed i canali industriali), in modo da poter osservare da un punto di vista più adeguato le criticità lungo gli argini; in alternativa, si è utilizzata l'automobile per spostarsi lungo le strade arginali (Romea, Brenta); invece, lungo i litorali (Punta Sabbioni, Lido, Pellestrina e Sottomarina), ci si è spostati prevalentemente a piedi.

Percorrendo la linea di protezione lagunare definita dal progetto e continuamente verificata o modificata sul campo, gli operatori effettuavano delle indagini visive sulle strutture di conterminazione, con l'obiettivo di individuare le situazioni di criticità così definite:

1. presenza di varchi nell'opera, creati appositamente o fatti da privati, evidenziandone anche la posizione geografica e la dimensione planimetrica ed altimetrica;
2. presenza di situazioni di evidente criticità nello stato di conservazione delle opere di protezione (dislocamenti, assestamenti, crepe, altre problematiche);
3. presenza di situazioni di probabile inizio di danneggiamento dell'opera di protezione;
4. presenza di situazioni di criticità nelle opere limitrofe che non consentono all'opera di protezione di funzionare al meglio.

Laddove si sono riscontrate le situazioni sopra descritte, sono state compilate le schede di campo e si sono documentate le criticità con foto, schizzi, annotazioni e, quando possibile, con rilievi topografici.

La Figura 3 rappresenta l'approccio integrato tra i metodi di rilievo utilizzati, che ha consentito una descrizione geometrica completa delle strutture indagate, corredata da valutazioni tecniche da parte di operatori esperti delle situazioni di criticità.

### **Segnalazioni**

La principale difficoltà dal punto di vista operativo è derivata dal periodo di intervento. Nella stagione estiva, infatti, la vegetazione è molto fitta; questo fatto ha, in alcuni casi, ostacolato le operazioni di campagna ed inciso sulla qualità del prodotto. Sul campo si è inoltre riscontrata una grande discontinuità nello stato di manutenzione degli elementi marginali: in alcuni tratti degli argini si presentava una vegetazione estremamente alta e fitta, con fusti di diametro anche maggiore di 10 cm.

Inoltre, la ristrettezza dei tempi di esecuzione ha imposto di operare con ritmo incessante anche nel mese di agosto.

Un altro ostacolo è stato la lentezza della burocrazia aeronautica, che di fatto ha impedito di completare le operazioni di volo SAPR nei tempi previsti.

Infine, si sono riscontrate difficoltà di accesso a molte aree perché private o perché fittamente vegetate.

Come contromisura al problema della vegetazione fitta, si è pensato di rilevare a terra con il GPS il profilo altimetrico della linea sommitale. Questa scelta ha consentito di ottenere notevoli benefici dal punto di vista della qualità del dato finale.

Per quanto riguarda l'accuratezza metrica, come si vede in Figura 4, lo scostamento del profilo ricavato dal DTM fotogrammetrico (in blu) rispetto a quello rilevato direttamente con GPS (in rosso) è inferiore all'accuratezza strumentale, dimostrando la validità del metodo e la ripetitività delle misure. Alcuni scostamenti localizzati mostrano l'andamento correttamente rettilineo del profilo GPS rispetto a piccoli avvallamenti in corrispondenza di residui d'erba sul profilo fotogrammetrico.

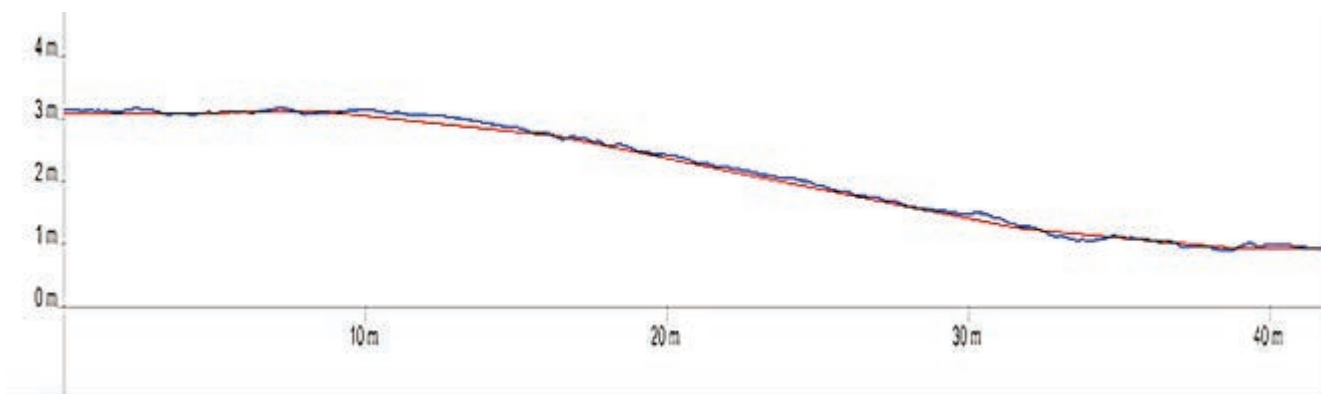


Figura 4 - Confronto tra linea rilevata con GPS e quota derivata da modello con il drone

L'utilizzo di orari alternativi nelle zone più problematiche per la presenza di turisti sulle spiagge nel mese di agosto si è rivelata un'ottima strategia ed ha consentito di superare il problema della stagionalità senza particolari ritardi.

## Risultati

Il risultato dell'indagine è stato

Un modello DTM delle strutture di conterminazione lagunare, largo dai 15 ai 100 m e lungo circa 180 km (75% della lunghezza complessiva). La parte mancante del rilievo SAPR è rappresentato per la quasi totalità dalla porzione di territorio giacente all'interno dell'area ATZ e lungo il corridoio di avvicinamento dell'aeroporto di Venezia Tessera, sulle quali, per poter operare, la normativa ENAC obbliga ad attendere l'autorizzazione al volo.

Il rilievo topografico dell'intera linea sommitale (238 km); la linea di profilo altimetrico giacente sul sedime aeroportuale è stata desunta dal rilievo topografico fornito dall'ufficio tecnico di SAVE.

Un rapporto commentato delle situazioni critiche emerse dalle ispezioni visive, rappresentate in: 70 schede di campo, rilievi topografici e fotografici di dettaglio ed una planimetria georeferenziata contenente l'ubicazione dei varchi classificati per livello di criticità.

## Personale e attrezzature

Le attività di rilievo aerofotogrammetrico sono state eseguite da tre squadre operative, di cui due impegnate nelle attività fotogrammetriche SAPR ed una impegnata nel rilievo a terra del profilo altimetrico della linea sommitale, mentre i sopralluoghi per la valutazione dello stato conservativo delle strutture di difesa sono stati eseguiti da operatori esperti, con lunga esperienza di cantiere.

Per i rilievi SAPR sono stati utilizzati i droni *Phantom 4 Professional*, *Flytop Flynovex*, *Phantom 4 Professional V2.0*; per i rilievi DGPS sono stati utilizzati i ricevitori geodetici *Leica 1230GG*, *Trimble S8* e *Topcon GR-3*.

## Applicazioni: modello idraulico

I rilievi eseguiti con drone sono stati utilizzati per verificare, nei diversi contesti della conterminazione della Laguna di Venezia, la vulnerabilità idraulica dell'ambito lagunare ad eventi estremi. In particolare si è cercato di valutare

l'adeguatezza delle quote di conterminazione ad eventi con tempo di ritorno di 1000 anni - valore per il quale sono state dimensionate le strutture del MOSE - e di 300 anni, evento a cui corrisponde un probabilità di superamento non trascurabile (oltre il 28%) nella vita utile dell'opera (100 anni).

L'analisi è stata specializzata per i diversi ambiti della conterminazione lagunare; in particolare per i litorali i livelli di riferimento hanno conto di:

marea;

sovralzo dovuto al frangimento dell'onda in prossimità della costa (*wave set-up*);

risalita dell'onda sulle strutture (*wave run-up*), per i litorali.

Tali forzanti sono state considerate anche per gli ambiti fluviali indagati con modello numerico unidimensionale dei tratti terminali dei fiumi Sile e Brenta come condizioni al contorno a mare da imporre nelle sezioni di valle; per tali ambiti è stato inoltre considerato l'effetto della portata di piena in arrivo da monte.

Per i vari ambiti sono state valutate le aree ritenute insufficienti per i due tempi di ritorno considerati proponendo, alla fine dello studio, alcuni possibili interventi finalizzati a mettere in sicurezza la Laguna Veneta da apporti d'acqua in ipotesi di funzionamento del sistema MOSE.

## Conclusioni

Il modello tridimensionale del terreno continuo e preciso dell'intera conterminazione lagunare, corredato dalla valutazione esperta dello stato di conservazione delle diverse strutture che la compongono, è stato utilizzato per il calcolo del modello idraulico della laguna; inoltre, essa consentirà agli Enti preposti di individuare le situazioni più critiche su cui intervenire per garantire il controllo delle masse d'acqua che in certe condizioni potrebbero entrare nella Laguna di Venezia.

Il presente lavoro può certamente essere ritenuto una delle più estese campagne di rilievo SAPR, in considerazione della novità della tecnologia. La costante e fattiva collaborazione fra Thetis, Groma e CVN ha permesso di trovare efficaci soluzioni ai problemi via via riscontrati, consentendo al progetto di andare a buon fine in tempi brevissimi e con risultati più che soddisfacenti.

## Riferimenti bibliografici

Progetto ISES: SIN 1.52 - PERIZIA DI ESERCIZIO - SEZIONI DI LAVORO n. 18 (5° str.) - competenze territoriali - rilievo ed aggiornamento limiti amministrativi demaniali del territorio di Burano e Mazzorbo, n. 58 (1° str.) - livellazione e misure di precisione del territorio del Bacino Scolante e della laguna di Venezia - rilievo litorali del Lido, di Pellestrina e di Sottomarina e zona sud del Bacino Scolante

Progetto ERA: SIN 1.114 PERIZIA DI ESERCIZIO SIN 1.114 - SEZIONE DI LAVORO n. 58 (5° str.) - rilievi e controlli del territorio mediante rete di livellazione e capisaldi GPS e verifiche ambientali per la presenza di siti inquinati