Regione Friuli Venezia Giulia

Comune di Duino Aurisina

Responsabile del Servizio Pianificazione Urbana e Territoriale
Responsabile del procedimento
arch. Donatella Mattiussi

Consorzio Villaggio del Pescatore
DIRETTORE : dott. Enzo Sartorello

IUAV Studi&Progetti S.r.l.
DIRETTORE : arch. Mario Spinelli

arch. Maura Orlandini

arch. Giuseppe Crimi

dott. Francesca Marinelli

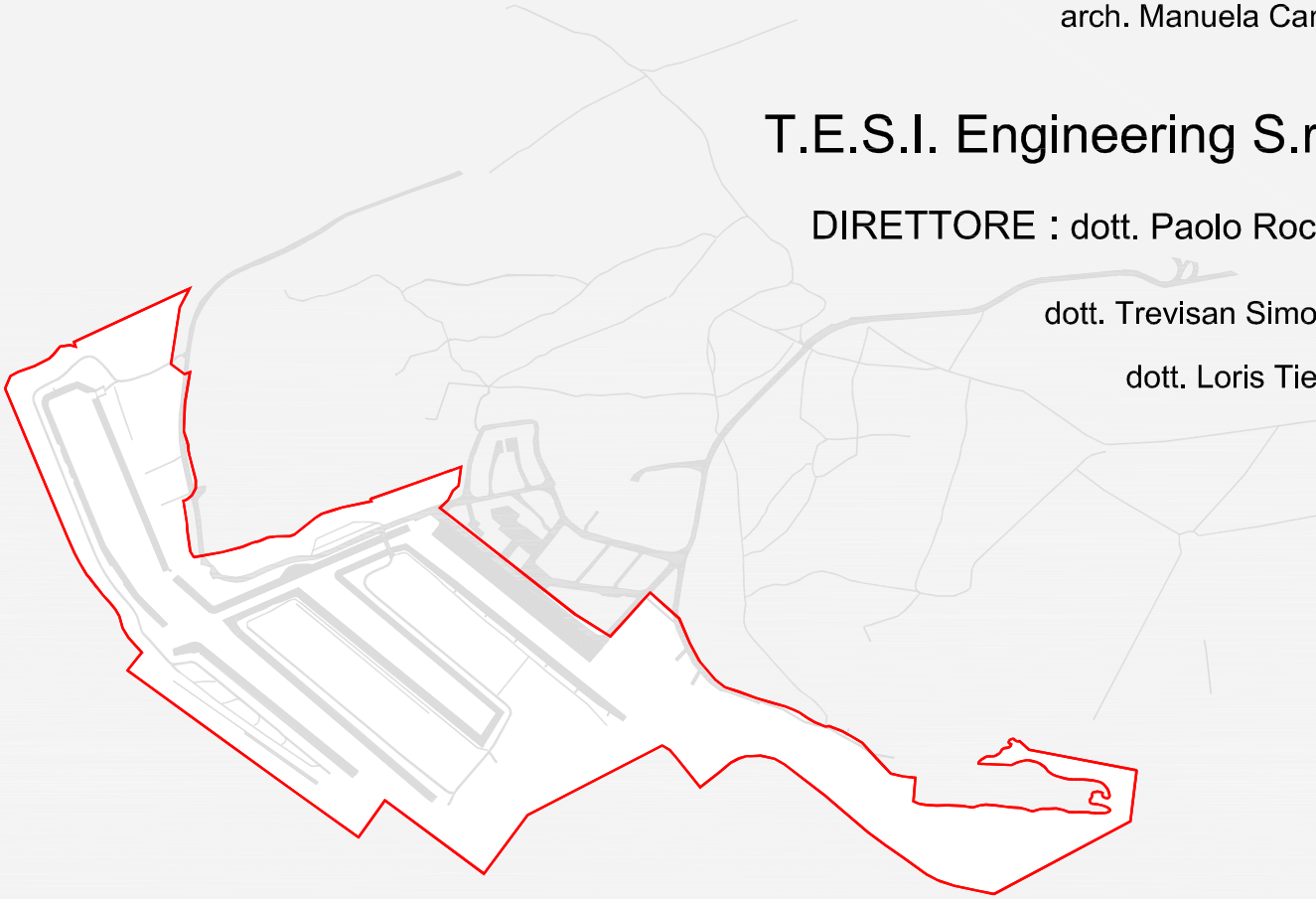
arch. Manuela Canto

T.E.S.I. Engineering S.r.l.

DIRETTORE : dott. Paolo Rocca

dott. Trevisan Simone

dott. Loris Tietto



Relazione geologica

OTTOBRE 2011

PIANO REGOLATORE del PORTO del VILLAGGIO DEL PESCATORE

T.E.S.I. Engineering S.r.l.
Via Cornoleda n. 2 - Cinto Euganeo (PD)
tel. 0429.647.188 – fax 0429.647.310
e-mail: studiorocca@tin.it

Engineering S.r.l.

COMUNE DI DUINO-AURISINA **PROVINCIA DI TRIESTE**

CONSORZIO VILLAGGIO DEL PESCATORE

IUAV STUDI E PROGETTI S.R.L.



RELAZIONE GEOLOGICA
A SUPPORTO DEL
PIANO REGOLATORE DI PORTO
DEL VILLAGGIO DEL PESCATORE

Prot. n° TE 0309/10 a

Cinto Euganeo, lì Marzo 2011

TE Engineering S.r.l.

COMUNE DI DUINO-AURISINA **PROVINCIA DI TRIESTE**

CONSORZIO VILLAGGIO DEL PESCATORE

IUAV STUDI E PROGETTI S.R.L.

RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO DEL PIANO REGOLATORE DI PORTO VILLAGGIO DEL PESCATORE

COMMITTENTE: **Consorzio**
Villaggio del Pescatore
Civico 163 - DUINO AURISINA - TS

PROT. N°: TE 0309/10 a

REDATTO DA: Dott. Geol. Tietto Loris

APPROVATO DA: Dott. Geol. Simone Trevisan

Via Cornoleda n. 2 - Cinto Euganeo (PD) - tel. 0429.647.188 – fax 0429.647.310
e-mail: studiorocca@tin.it
www.tesiengineering.it

INDICE

PREMESSA 3

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-STORICO 4

2 INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO 8

2.1 TEMPERATURA 9

2.2 PRECIPITAZIONI 10

2.3 VENTO 12

3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO 17

3.1 CARSISMO ED IDROGRAFIA 17

3.2 FIUME TIMAVO 18

3.3 SORGENTI 19

3.4 MAREE 21

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE 22

4.1 ASSETTO LITOLOGICO LOCALE 24

4.2 ASSETTO TETTONICO – STRUTTURALE 26

4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO 28

4.3.1 FORME STRUTTURALI 28

4.3.2 FORME DI VERSANTE PER GRAVITÀ 28

4.3.3 FORME FLUVIALI E DI VERSANTE PER DILAVAMENTO 28

4.3.4 FORME CARSICHE 29

4.3.5 FORME MARINE 29

4.3.6 FORME ANTROPICHE 30

4.4 ASSETTO COSTIERO 31

4.5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 32

5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 33

5.1 PIEZOMETRIA E VULNERABILITÀ 35

5.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE 36

6 CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE 38

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 40

8 BIBLIOGRAFIA 42

TAVOLE

Tavola 1: Corografia

Tavola 2: Carta Geologica

Tavola 3: Carta Geomorfologica

Tavola 4: Carta della Zonizzazione Geotecnica

Tavola 5: Carta Idrogeologica

Tavola 6: Carta del Rischio Geologico

Tavola 7: Carta del Rischio Idraulico

PREMESSA

Il presente elaborato è stato redatto a seguito d'incarico conferitoci dal Consorzio Villaggio del Pescatore ed in collaborazione con ISP - Iuav Studi & Progetti S.r.l., quale supporto tecnico specifico per la redazione del nuovo Piano Regolatore del Porto del Villaggio del Pescatore.

Nella fase attuale si colloca l'analisi dello stato di fatto, ivi compreso lo studio delle criticità naturali che affliggono l'area del Villaggio, con l'obbiettivo di consentire le migliori soluzioni attuative in fase di progettazione.

Al fine di fornire uno strumento tecnico in grado di ottemperare alle esigenze cui sarà oggetto il Piano Regolatore di Porto, sarà cura di questo elaborato trattare nel dettaglio le dinamiche che interessano l'area di studio nonché le caratteristiche intrinseche del territorio. In particolare il presente documento svilupperà i seguenti punti:

- ✓ La situazione litostratigrafica locale con la definizione dell'origine e natura dei litotipi;
- ✓ Le principali caratteristiche dei litotipi: lo stato di alterazione, fratturazione e la degradabilità;
- ✓ Gli elementi geomorfologici della zona e gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali;
- ✓ I caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità;
- ✓ L'analisi dei sistemi morfoclimatici e morfodinamici in atto;
- ✓ Lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- ✓ L'analisi dei fenomeni naturali potenzialmente pericolosi per l'uomo ed i complessi antropici urbanizzati;
- ✓ La proposta di soluzioni risolutive delle problematiche naturali irrisolte.

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-STORICO

L'area del Villaggio del Pescatore ubicata nel settore nord occidentale della Provincia di Trieste, rientra nel territorio comunale di Duino-Aurisina a ridosso dell'area industriale portuale di Monfalcone.

Il Villaggio si configura come un complesso urbano adagiato alle pendici del Carso triestino, sviluppandosi tra quel lembo di mare Adriatico racchiuso nel Golfo di Panzano e le foci del fiume Timavo, ad un'altitudine prossima al livello del mare.

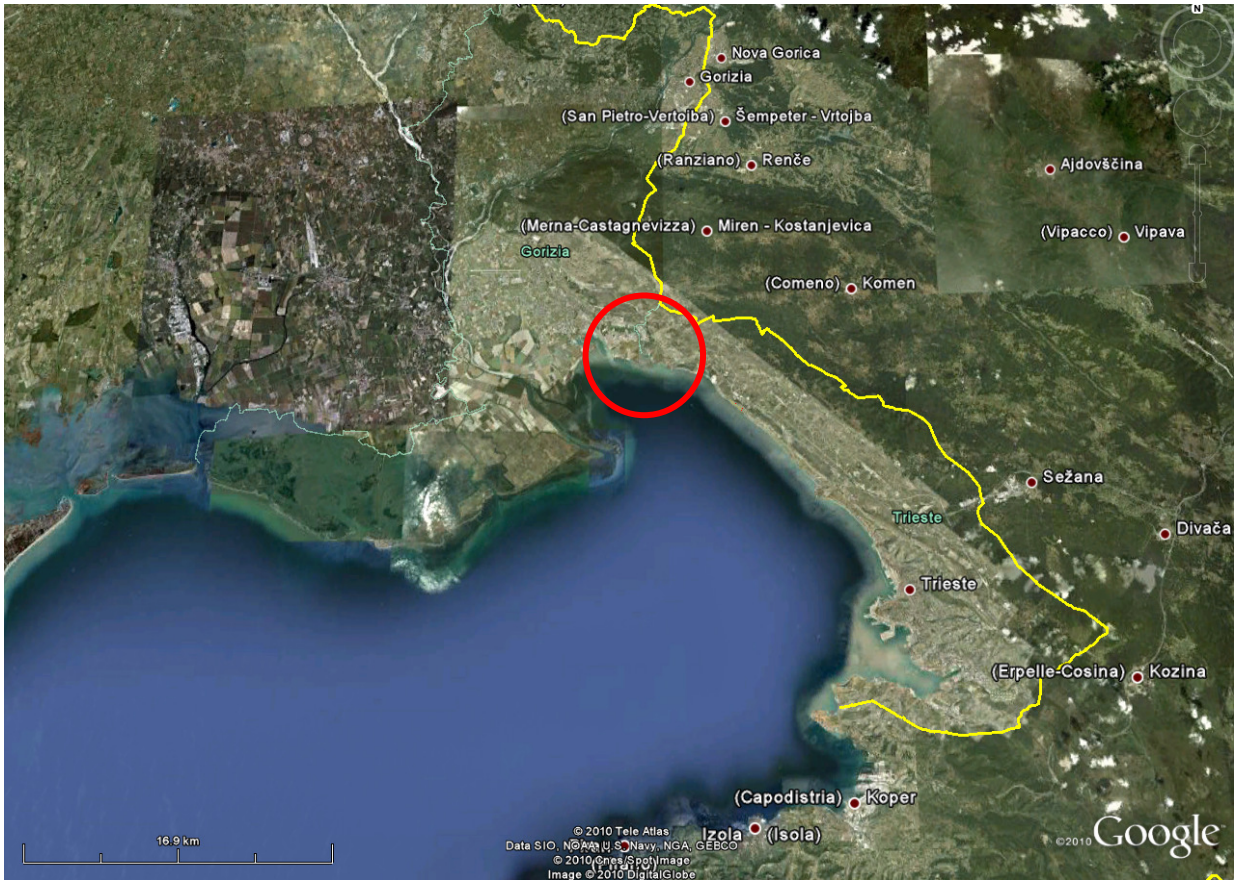


Figura 1.1 – Inquadramento geografico regionale

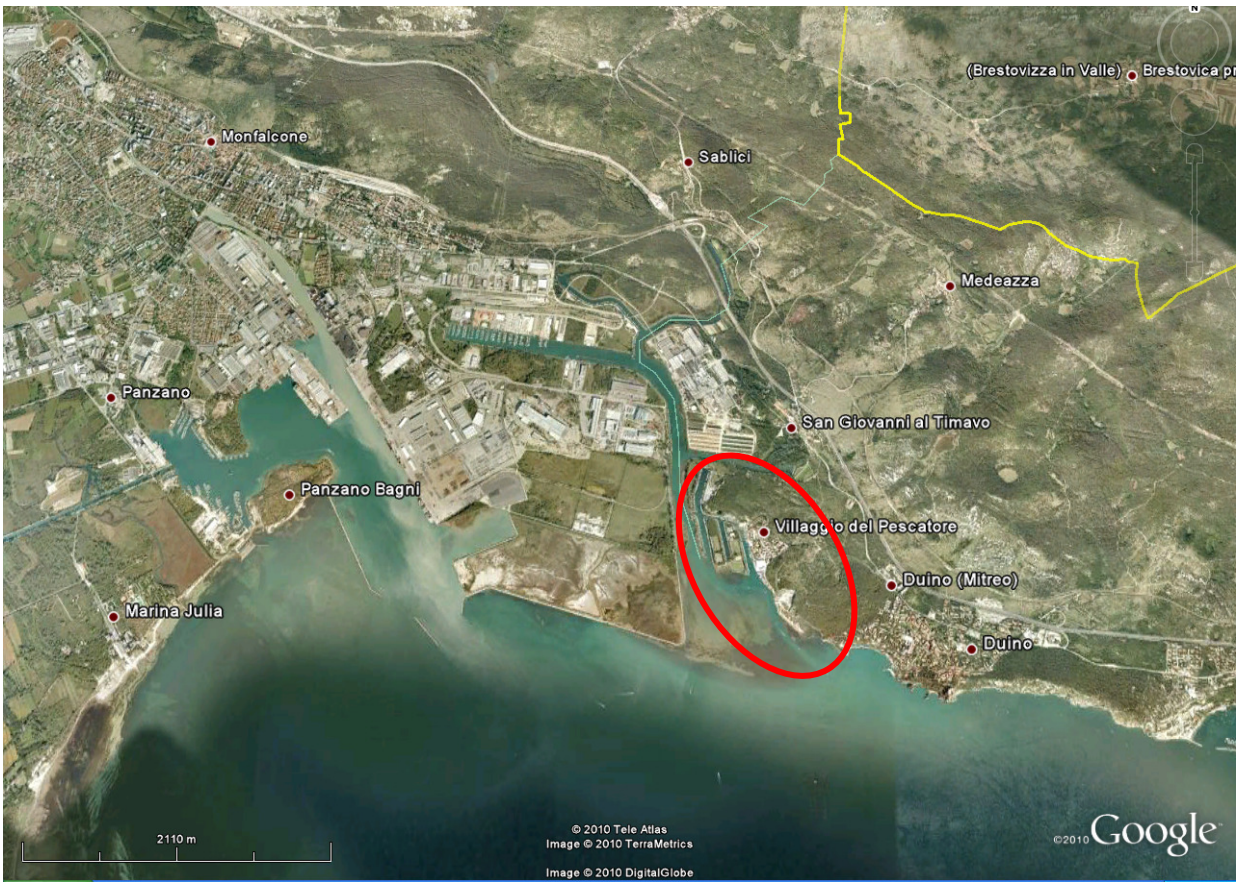


Figura 1.2 – Inquadramento area Villaggio del Pescatore

L'intera zona del Villaggio ha subito profondi cambiamenti nel corso del recente passato (iniziati negli anni '50–'60), quasi esclusivamente ad opera dell'uomo. La trasformazione, intrapresa attraverso il riempimento e la consolidazione di parte della baia e della piana tidale con terreni e materiali di riporto di varia natura, e con l'escavazione dei canali adibiti a porto, si è protratta sino ad oggi trasfigurando quest'area, altrimenti selvaggia, in un ambiente brulicante di attività ed infrastrutture legate alla pesca e al diportismo.

Il risultato è stata una rapida espansione urbanistica in un breve lasso di tempo, e la nascita di un'area portuale alle foci di Timavo e del canale Locavaz.

Di seguito vengono riportate alcune immagini storiche della baia del Villaggio del Pescatore contestualmente alla sua iniziale antropizzazione (Figg. 1.3,1.4 e 1.5), mentre in Figura 1.6 si riporta una foto di inizio '900 da cui emerge il naturale assetto costiero della zona. Precedentemente alle opere di bonifica e riconversione territoriale, l'area di foce, ad oggi configurata come un porto-canale ramificato, altro non era che una piana tidale regolata dai processi marini e dalle evoluzioni fluviali del Timavo.



Figura 1.3 - Primo nucleo abitativo del Villaggio del Pescatore (1953)

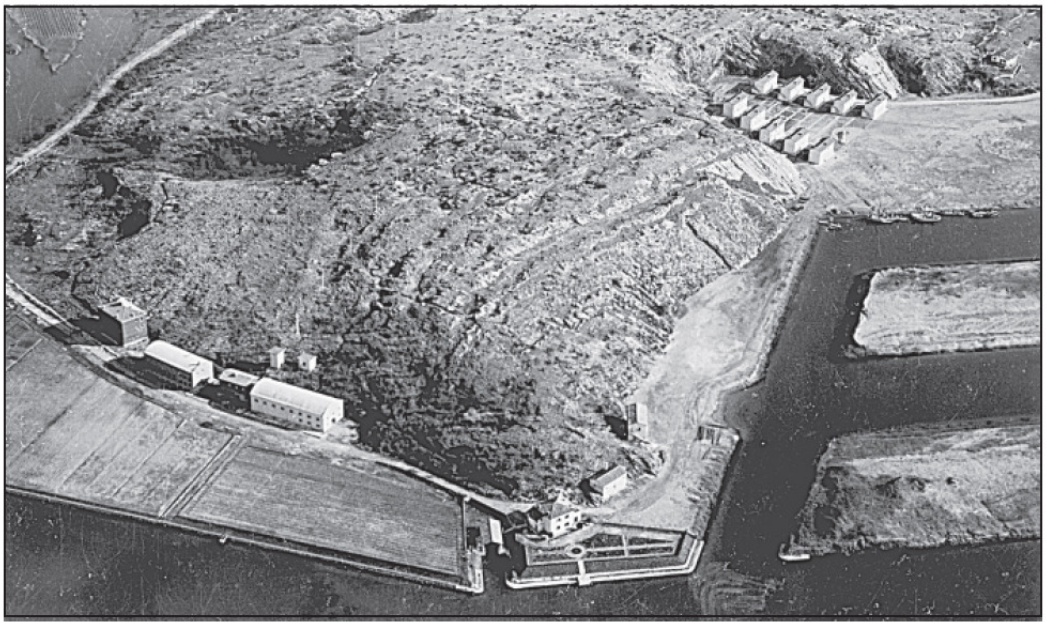


Figura 1.4 - Vista aerea del Villaggio (1953)

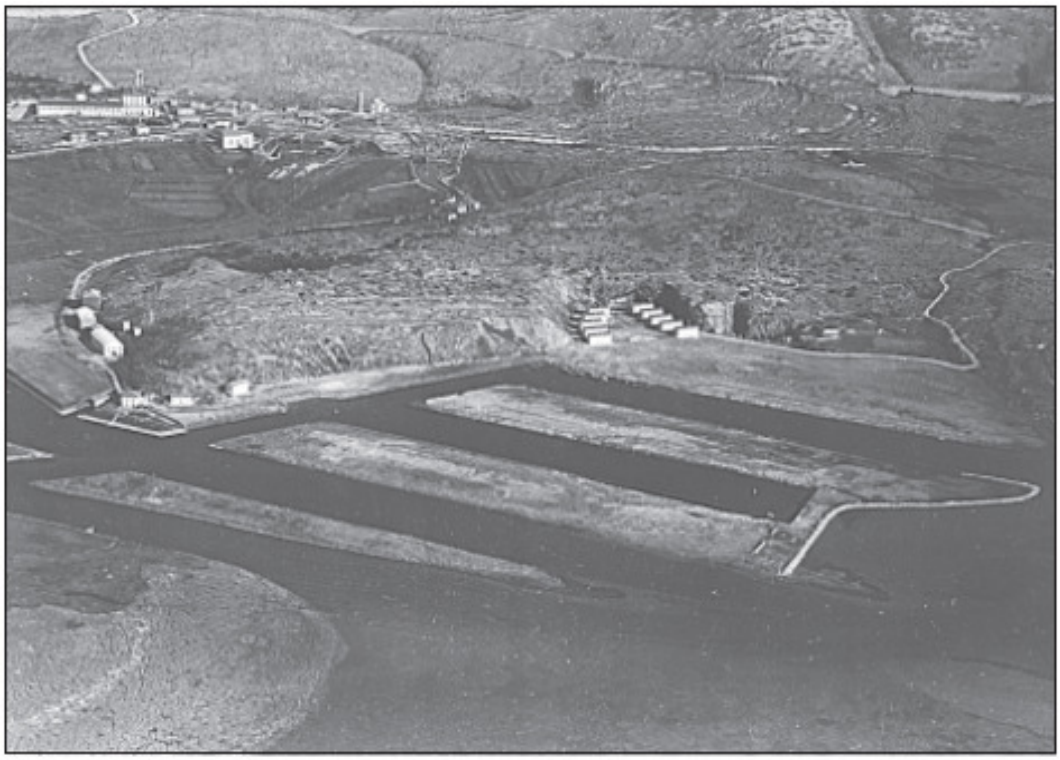


Figura 1.5 - Vista aerea dei "mazzuoli" e della terza isola, a seguito delle opere di escavazione dei porti canale (1953)



Figura 1.6 - Vista della piana tidale anteriormente all'intervento antropico (1901). In primo piano l'ansa del fiume Timavo ed a sinistra il promontorio Bratina.

2 INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO

La regione Friuli Venezia Giulia è caratterizzata da una posizione geografica e da un'orografia che ne condizionano in modo determinante la meteorologia ed il clima.
La regione è situata alle medie latitudini, dove è molto marcato il contrasto tra le masse d'aria polare e tropicale: tale contrasto genera frequentemente delle perturbazioni dello stato normale dell'atmosfera.
In zone orograficamente complesse, come il Friuli Venezia Giulia, i processi di formazione delle perturbazioni e la loro evoluzione sono influenzati fortemente dai rilievi e dalla loro disposizione rispetto alla circolazione prevalente delle masse d'aria.
La presenza delle Alpi induce significativi cambiamenti della temperatura, umidità e ovviamente della direzione di moto delle masse d'aria che interessano la regione.
Alcuni processi quali *foehn* (vento caldo e secco discendente dalle Alpi) e *stau* (effetto di sbarramento dovuto ad una catena montuosa, che costringe le correnti d'aria ad innalzarsi raffreddandosi, dando spesso luogo a precipitazioni), hanno luogo sugli opposti versanti della catena montuosa, e sono responsabili di profonde modifiche del contenuto relativo d'acqua nell'aria, attraverso processi di condensazione ed evaporazione dell'acqua stessa, i quali inesorabilmente influenzano la temperatura dell'aria e di conseguenza la stabilità atmosferica.
Un ruolo fondamentale in questo delicato equilibrio meteoclimatico e di dinamica delle masse d'aria, è ricoperto di conseguenza dal regime dei venti. L'area triestina è particolarmente nota per un fenomeno ventoso, talvolta assai violento, di provenienza N-NE, ben conosciuto col nome di Bora.

Molto importanti sono anche le peculiarità locali del territorio, quali la presenza del mare Adriatico, poco profondo, e della laguna di Grado caratterizzata da considerevoli escursioni termiche.
In estrema sintesi il clima della regione può essere considerato come un clima **continentale moderato con connotazione umida**.
La connotazione umida del clima è dettata dall'elevata piovosità dell'alta pianura friulana e della zona prealpina. Questo elemento è il risultato sia dell'effetto che i rilievi hanno sui flussi di aria umida provenienti da sud, i quali, forzati a moti verticali sono causa di piogge copiose, sia dell'elevata frequenza di temporali primaverili ed estivi. Non va inoltre dimenticato che la grandine è tra i fenomeni caratterizzanti il clima estivo regionale.

2.1 TEMPERATURA

La temperatura media annuale della fascia pianeggiante e costiera della regione è compresa tra valori di 12 e 14 °C; mentre lievi differenze si devono sostanzialmente solo alla maggiore vicinanza al Mare Adriatico e alla posizione geografica.

L'area ove si colloca il Villaggio del Pescatore, risente maggiormente dell'effetto protettivo offerto dalla barriera dell'altopiano carsico, a ridosso della linea di costa, che induce un clima litoraneo più mite, favorito inoltre dalla maggiore profondità del mare antistante (circa 0 – 10 m nella zona occidentale della costa Triestina).

Di seguito si riportano alcuni dati relativi alla stazione meteorologica di Monfalcone, che, sebbene la vicinanza geografica con l'area in esame, è caratterizzata da valori leggermente differenti rispetto alle condizioni sito specifiche del Villaggio del Pescatore, condizionato dell'effetto mitigatore del mare. In Figura 2.1 si evidenzia l'ubicazione della stazione di misura di riferimento, facente parte della rete di monitoraggio meteorologico OSMER della regione Friuli Venezia Giulia.

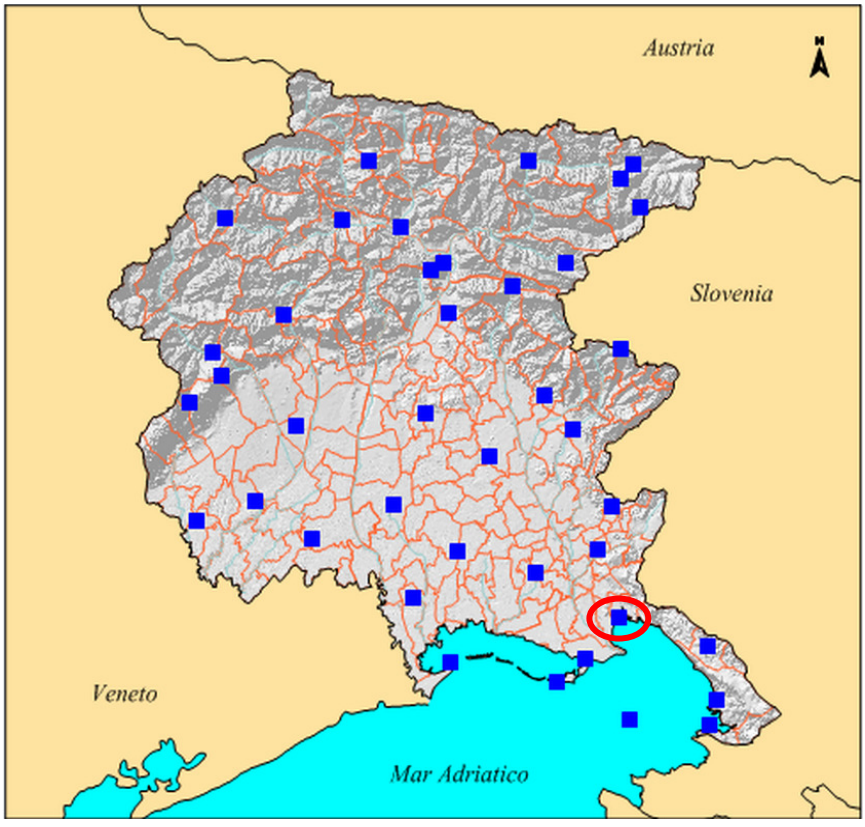


Figura 2.1 - Rete di Monitoraggio Meteorologico
Ubicazione Stazioni di Monfalcone e Ronchi dei Legionari
(fonte: Osmer)

La temperatura media annua (Fig. 2.2), su base trentennale (1971-2000 - Servizio Idrografico Nazionale) è di 13,2 °C, cui si devono aggiungere 0.5°C per le aree in prossimità della costa.

Si sottolinea che, sulla fascia costiera, la presenza della Bora enfatizza non solo l'apporto di aria gelida da est, ma anche la compressione ed il riscaldamento delle masse d'aria calde tropicali nei mesi estivi (effetto foehn). La Bora, seppur di lieve intensità, è quindi una concausa dei massimi estremi di temperatura sulla costa (come anche sul resto della pianura regionale).

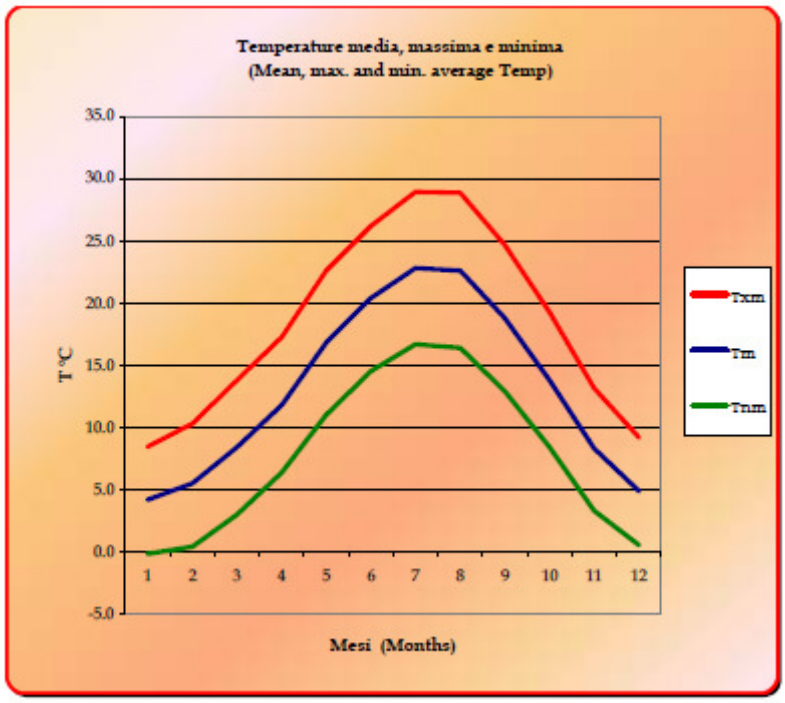


Figura 2.2 - Temperature - Trend Annuale

2.2 PRECIPITAZIONI

Un'analisi eseguita dall'OSMER dell'ARPA sui dati giornalieri pluviometrici del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici (1961-1990) ha portato alla stesura di varie mappe regionali di piovosità. Dallo studio delle mappe della pioggia media annuale si nota che la regione può essere, in buona misura, divisa in 4 zone che presentano regimi pluviometrici distinti:

- ✓ *Fascia costiera*: è la zona meno piovosa della regione. I totali annui raggiungono mediamente i 1'000-1'200 mm, con un andamento crescente dalla costa verso l'interno;

- ✓ *Fascia di pianura e collinare*: avvicinandosi alle montagne la piovosità aumenta. I valori medi annui variano da 1'200 a 1'800 mm;
- ✓ *Fascia prealpina*: le precipitazioni medie annue raggiungono valori (dai 2'500 ai 3'100 mm) da primato europeo;
- ✓ *Fascia alpina interna*: a Nord delle Prealpi Carniche e Giulie la piovosità media annua torna a decrescere fino a valori di 1'600 – 1'800 mm, molto simili a quelli della media pianura.

Il Villaggio del Pescatore rientra chiaramente nel regime pluviometrico della fascia costiera. Il valore medio annuale nel trentennio di riferimento (1971-2000) relativamente alla stazione meteorologica di Ronchi dei Legionari (gestione ENAV) è di 1103.5 mm. Di seguito si riportano i dati medi mensili, stagionali ed annuali del trentennio (tab. 2.1).

Tabella 2.1 - Precipitazioni medie (1971 - 2000)

PRECIPITAZIONI MEDIE (*mm*)																
Mensile												Stagionale				ANNO
Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Inv	Pri	Est	Aut	
67,2	59,0	82,2	102,1	91,7	101,6	76,7	93,9	119,3	119,0	100,8	90,0	216,2	276	272,2	339,1	**1.103,5**

La natura e l'origine delle piogge, ovviamente, variano nel corso dell'anno: durante i mesi tardo autunnali, invernali e primaverili le piogge sono in genere legate alla circolazione sinottica ed ai flussi umidi meridionali; durante i mesi estivi e nei primi mesi autunnali diventa rilevante, o anche prevalente, il contributo delle piogge di origine convettiva (rovesci e temporali) ovvero di dinamiche alla mesoscala.

Infine l'intensità delle piogge estivo-autunnali è mediamente superiore a quella delle piogge invernali e primaverili.

Come è possibile osservare dalla Figura 2.3, l'andamento medio del trentennio 1971-2000 relativo al pluviometro di Ronchi dei Legionari è rappresentato da un trend tipicamente bimodale costituito da due massimi relativi di piovosità nei periodi primaverile ed autunnale.

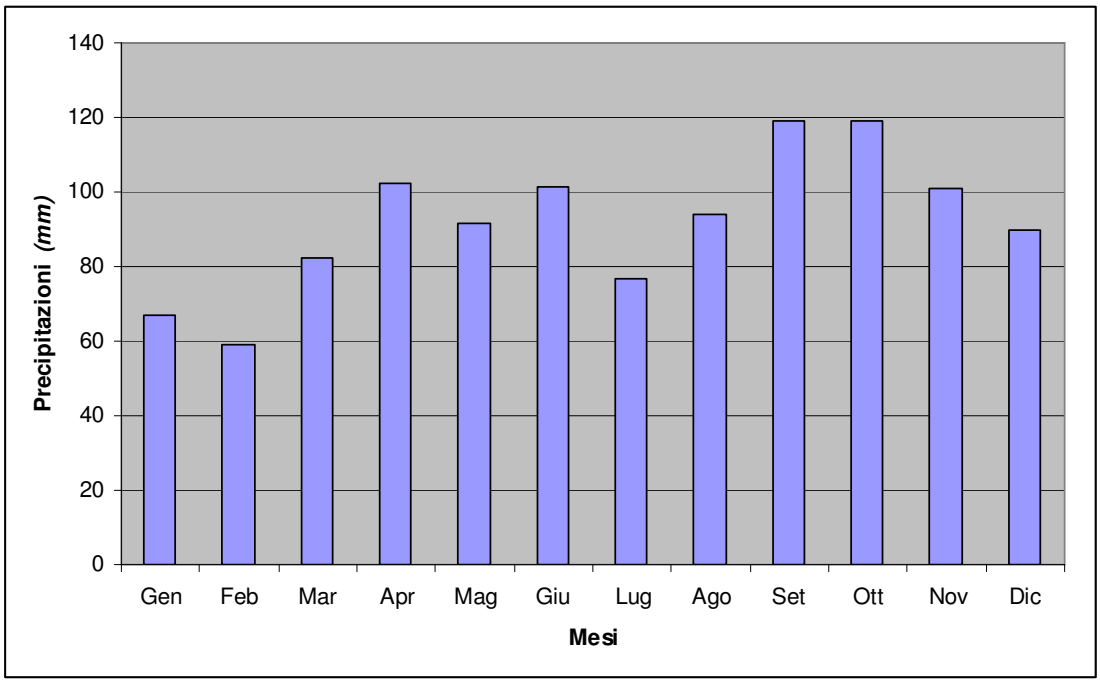


Figura 2.3 - Trend Annuale Precipitazioni (1971-2000)

2.3 VENTO

In Friuli Venezia Giulia il regime dei venti al suolo è determinato dalla conformazione del territorio.

La catena alpina che dalle Carniche prosegue verso est con le Giulie, degradando poi verso sud est con i rilievi del Carso, rende predominanti i venti provenienti dal quadrante orientale sulla pianura e lungo la costa.

Il regime delle brezze è il secondo elemento caratterizzante i venti di tutto il territorio regionale.

Per quanto riguarda l'intensità dei venti, esiste una notevole differenza tra i regimi di brezza, a valenza locale, e i venti cosiddetti "*sinottici*", cioè quelli che soffiano fino a 3000-4000 metri di quota e che sono segnalati dalle stazioni di rilevamento, nelle carte meteorologiche e nei notiziari meteorologici.

Per le brezze, le intensità medie variano da luogo a luogo, registrando valori medi più elevati lungo la zona costiera e allo sbocco delle principali valli sulla pianura.

Durante il periodo estivo, le intensità medie del vento in zona costiera sono comprese tra 2 e 3 m/s. Tali intensità medie rappresentano un'estrema sintesi del fenomeno, in quanto le brezze seguono un ciclo, sostanzialmente diurno, che alterna periodi di calma a periodi di

elevata intensità del vento, che non di rado raggiunge valori compresi tra 5 e 8 m/s, specie lungo la costa.
Si distinguono, infatti, due tipologie di brezza: di *mare* e di *terra*. Le brezze di mare iniziano a svilupparsi una o due ore dopo il sorgere del sole e raggiungono, verso le due del pomeriggio, la massima velocità per poi cessare del tutto al tramonto. Ad esse subentrano a sera ed in condizioni normali le brezze di terra che, durante la stagione estiva, durano sino a dopo il sorgere del sole.

I venti sinottici sono prevalentemente presenti nel periodo autunnale ed invernale ed hanno valori medi superiori, anche di alcuni metri al secondo, rispetto a quelli delle brezze. Per la zona della costa, la Bora è il vento predominante. La Bora è un vento di caduta e compressione adiabatica (catabatico) contraddistinto da un caratteristico comportamento a raffiche, pertanto una descrizione media del fenomeno sarebbe riduttiva. Episodi di Bora con intensità del vento medio orario superiore a 10 m/s per oltre 5 ore consecutive non sono per niente rari; le raffiche superano largamente i 30 m/s e sono stati registrati valori superiori ai 40 m/s negli ultimi 30 anni nella zona costiera di Trieste. In pianura il vento di natura sinottica presenta una maggior costanza, salvo nelle zone orientali della regione dove la connotazione è a raffiche, anche se meno marcata di quella costiera.

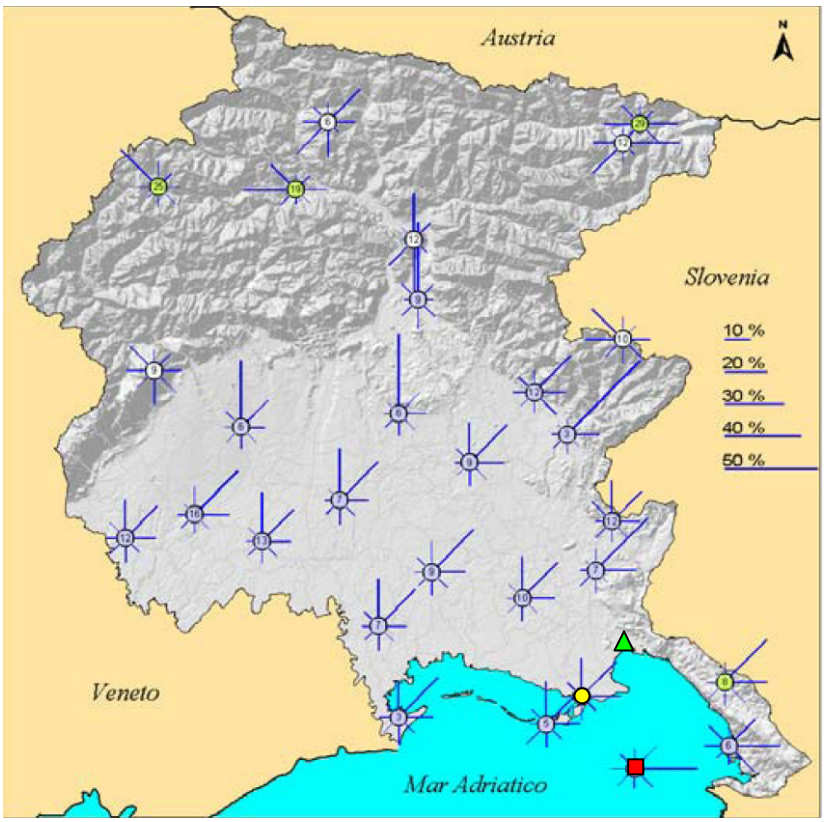


Figura 2.4 - Carta della Frequenza dei Venti ed ubicazione delle stazioni anemometriche rappresentative (fonte: Osmer)

Per quanto riguarda la **direzione prevalente** dei venti nell'area del Villaggio del Pescatore si constata che le **brezze** hanno provenienza diurna variabile da O a NO, mentre quella notturna è sostanzialmente orientale.

Altresì, i **venti** sinottici dominanti hanno provenienza prevalente nord orientale, ma non mancano ogni anno alcuni episodi di scirocco o tramontana.

Nelle figure successive è possibile osservare alcuni diagrammi a rosetta del regime medio caratteristico di alcune stazioni anemometriche ubicate attorno all'area di studio. Nelle Figure 2.5 e 2.6 si riportano rispettivamente le direzioni di provenienza dei venti riguardanti la Boa Paloma, ubicata circa al centro del Golfo di Trieste, e a Fossalon di Grado, al margine orientale della laguna omonima, entrambi elaborati da dati annuali medi su base pluriennale.

Con riferimento ai dati rilevati nella stazione di Ronchi dei Legionari (geograficamente prossima al Villaggio del Pescatore), si riportano i grafici stagionali elaborati su base

pluriennale ed i grafici riferiti agli istanti temporali disponibili, estratti dalla banca dati della stazione medesima (ore 00 UTC – 06 UTC - 12 UTC).

(Nota: i grafici si riferiscono a frequenze orarie dominanti)

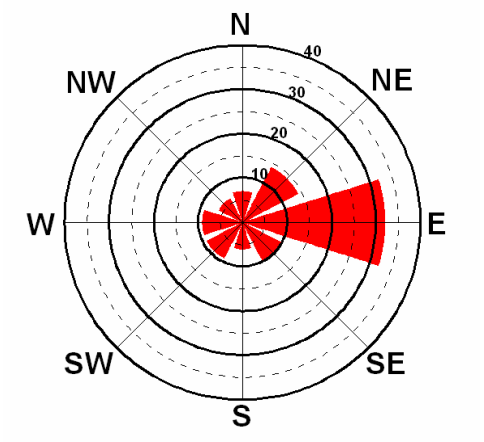


Figura 2.5 – Regime Annuale Medio dei Venti BOA PALOMA (2002-2008)

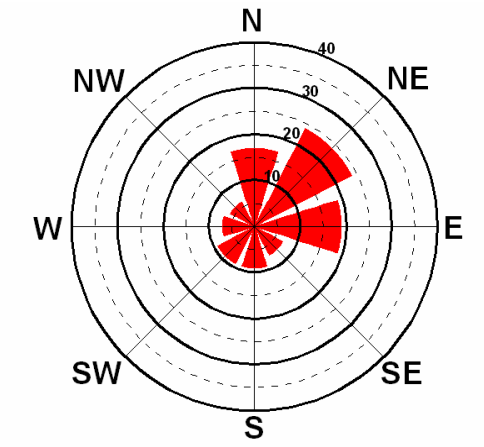


Figura 2.6 – Regime Annuale Medio dei Venti FOSSALON DI GRADO (1995-2008)

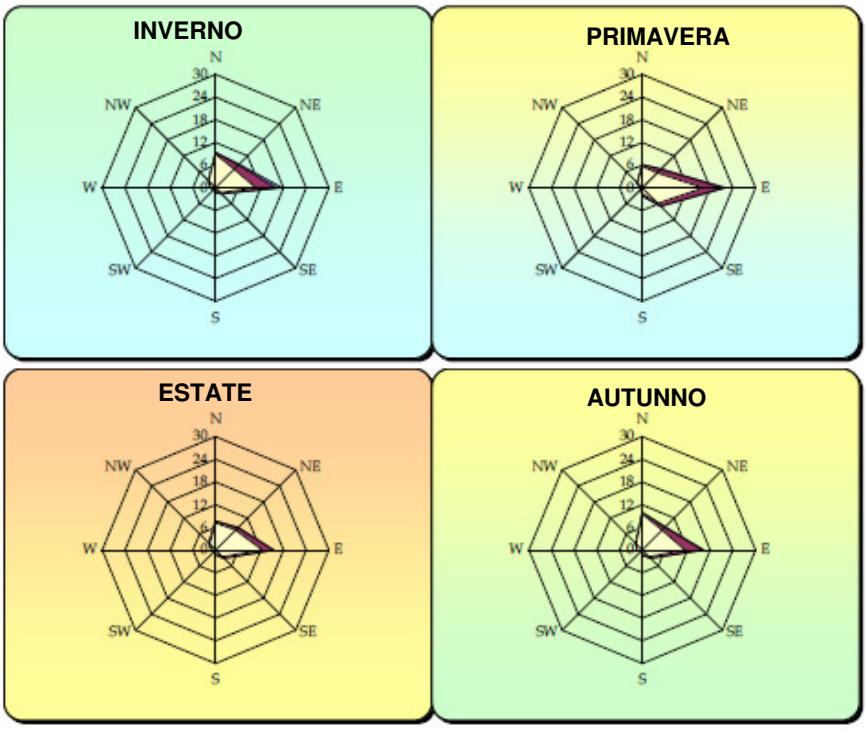


Figura 2.7 -Regime Stagionale Medio dei Venti (00 UTC) RONCHI dei LEGIONARI (1971-2000)

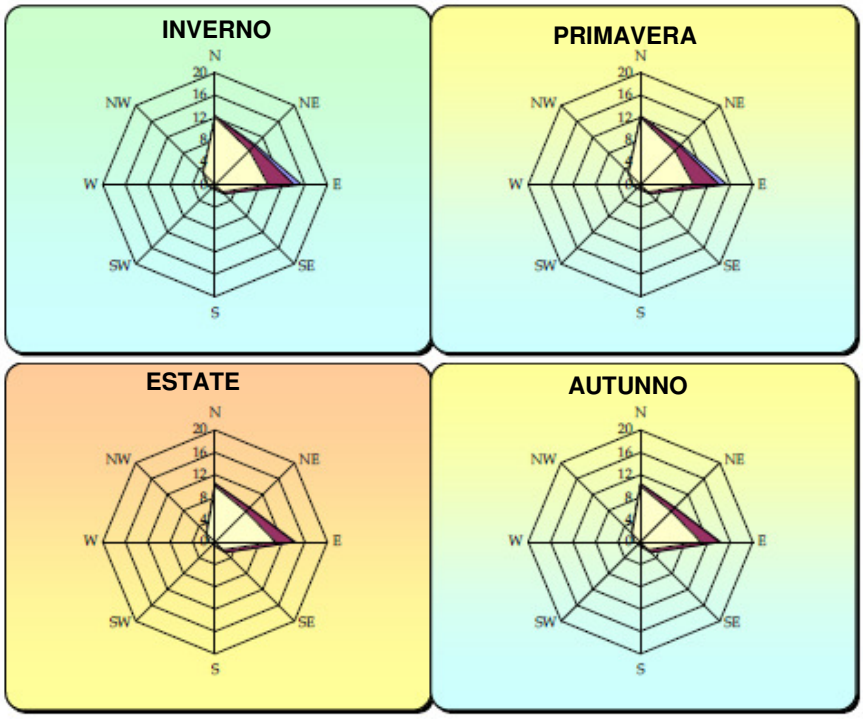


Figura 2.8-Regime Stagionale Medio dei Venti (06 UTC)
RONCHI dei LEGIONARI (1971-2000)

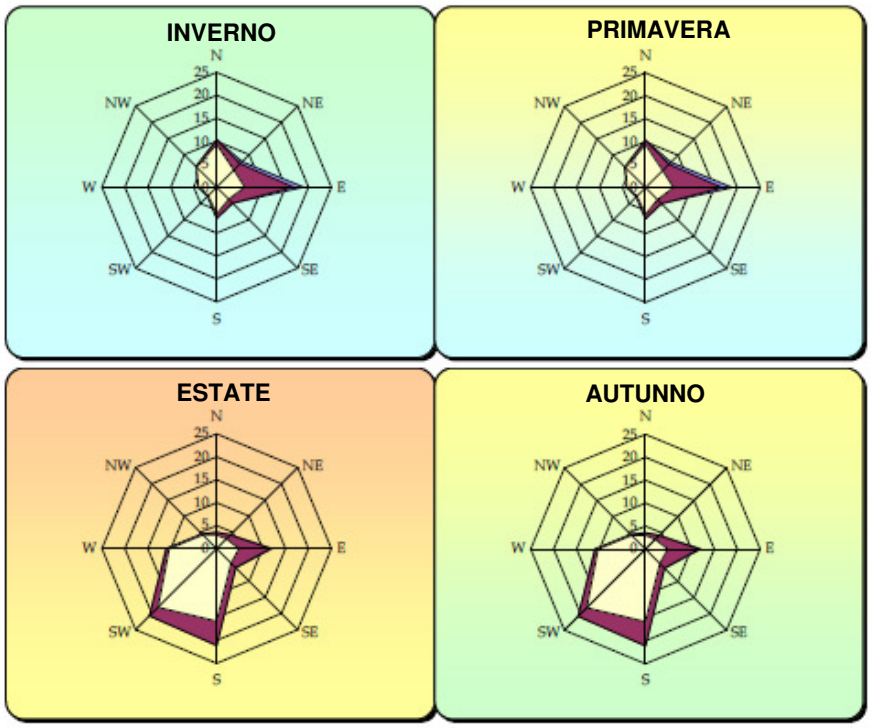


Figura 2.9-Regime Stagionale Medio dei Venti (12 UTC)
RONCHI dei LEGIONARI (1971-2000)

3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

La determinazione delle caratteristiche morfologiche di un territorio è il risultato dell'azione modellatrice degli agenti esogeni sul substrato litologico costituente l'area. Le caratteristiche intrinseche del substrato associate a tipologia ed intensità delle forze esterne causa del *weathering*, determinano estensione e tipologia del reticolo idrografico.

L'area del Villaggio del Pescatore, data l'ubicazione geografica, è notevolmente influenzata dalle caratteristiche litologiche delle rocce carbonatiche che ne costituiscono in parte il substrato roccioso; tali caratteristiche, influenzano notevolmente il bacino idrografico di cui fa parte, e determinano una situazione idrografica del tutto particolare di seguito descritta nei suoi elementi fondamentali.

3.1 CARSISMO ED IDROGRAFIA

Con il termine carsismo, derivante da Carso, regione geografica situata al confine tra Italia e Slovenia, si identifica l'insieme dei fenomeni causati dalla dissoluzione di rocce carbonatiche ed avaporitiche ad opera di acque rese acide dalla presenza di anidride carbonica.

Se l'acqua piovana si infiltra nel sottosuolo può scavare cavità sotterranee: grotte, pozzi e gallerie. In condizioni ambientali particolari avviene il processo inverso, ovvero la rideposizione del carbonato di calcio disciolto nell'acqua, con formazione di strutture particolari come le stalattiti e le stalagmiti.

In superficie le zone carsiche non presentano corsi d'acqua: le acque vengono, infatti, raccolte da depressioni ad imbuto, chiamate doline e convogliate attraverso inghiottitoi, o foibe, nelle cavità sotterranee, dove possono scorrere come fiumi veri e propri. Altre forme superficiali tipicamente carsiche sono i polje, ampi bacini del fondo pressoché pianeggiante.

Il fenomeno del carsismo, che potenzialmente interessa tutte le litologie, si manifesta quasi esclusivamente nelle rocce a solubilità maggiore ovvero in rocce carbonatiche (Calcari e Dolomie) ed in quelle evaporitiche (Gessi e Salgemma).

Un'altra caratteristica importante che favorisce questo fenomeno è lo stato di fratturazione della roccia; maggiori sono le fratture maggiore sarà il volume di roccia interessato.

La maggior parte dei fenomeni carsici conosciuti, sia di superficie che di sottosuolo sono dovuti all'azione delle acque di origine meteorica, ma importanti sono anche quei fenomeni legati alla presenza di acque di mare in prossimità della linea di costa, oppure

laddove si abbia la risalita di acque profonde che vengano a contatto con acque di origine meteorica in corrispondenza di importanti faglie.
Il carsismo da acque meteoriche è quello definito "classico" in quanto è quello che più facilmente si manifesta sulla superficie terrestre.
Nell'area in esame vi è la coesistenza di carsismo carsico e costiero.

Gli effetti più appariscenti dei processi carsici si hanno sull'aspetto superficiale del terreno, nel quale, in zone ben "carsificabili", si ha un'infiltrazione d'acqua nel terreno pari al 50% di quella piovuta, e in certe situazioni si arriva al 90%.

Tale fenomeno fa sì che l'acqua non scorra sulla superficie (ruscellamento superficiale) e quindi il risultato è che il principale agente modellatore del paesaggio terrestre (l'erosione ad opera dell'acqua) sia molto ridotto.

Questo spiega la presenza di forme di raccolta dell'acqua che possono essere di dimensioni molto variabili. Vi sono i cosiddetti karren o campi carreggiati, con dimensioni che variano da qualche centimetro al metro, gli inghiottitoi o le doline (cavità di forma circolare con uno o più punti d'assorbimento idrico) solitamente di dimensioni maggiori che possono assumere varie forme, da quella a pozzo, ad imbuto, a scodella e altre. Possiamo avere i polje che sono dei bacini chiusi di dimensioni chilometriche con versanti ripidi e fondo appiattito; le valli cieche in cui vi è un corso d'acqua che poi improvvisamente viene inghiottito da una cavità e si perde nel sottosuolo. Un'altra forma molto comune è la gola carsica, una profonda incisione con fianchi ripidi, dovuta al fatto che l'azione erosiva è compiuta principalmente al fondo.

Nel sottosuolo invece si formano una serie di cunicoli, grotte, gallerie e pozzi che in parte si uniscono a formare una ragnatela tridimensionale, allargandosi maggiormente in corrispondenza della massima pendenza del versante, in cui il movimento, la velocità e la quantità d'acqua che vi transita è maggiore.

3.2 FIUME TIMAVO

Un caso rappresentativo, a livello mondiale, di ricerche idrogeologiche compiute attraverso l'ausilio d'indagini speleologiche è quello del Carso triestino, in cui, da oltre duecento anni, vengono compiute ricerche per individuare il corso sotterraneo del fiume Timavo, che sgorga a poca distanza dall'abitato del Villaggio del Pescatore.

Il Timavo riceve acqua da numerosi inghiottitoi, il principale dei quali è quello del Fiume Reka, in territorio sloveno e dalle acque d'infiltrazione diffusa dell'ampio altopiano del Carso (Boegan, 1938; Gemiti, 1982; Menichetti, 1997; Ballarin e Semeraro, 1997). La connessione idrogeologica tra Reka e Timavo è da sempre radicata nelle tradizioni popolari tanto che, dall'inizio del diciannovesimo secolo, molti studiosi si sono ingegnati di dimostrarla attraverso prove di tracciamento con l'uso dei mezzi più disparati: dalla paglia, a galleggianti di legno, alle anguille.

Riguardo al trasporto solido ed alla capacità di apporto sedimentario alla foce del sistema, si stima che, considerate le caratteristiche peculiari del complesso fluviale ipogeo, non sussistono condizioni affinché possano avvenire sostanziali apporti sedimentari.
In condizioni di piena si raggiungono i livelli massimi di torbidità e di trasporto solido, che generalmente non supera i 2 g/l di materiale. In condizioni di morbida, invece, il trasporto al fondo ed in sospensione è quasi inesistente.
Ciò è determinato dal relativo percorso sotterraneo del fiume, che attraversando l'acquifero carsico subisce già a monte idrogeologico una filtrazione delle acque dal carico sedimentario.

La maggior parte dei depositi sedimentari che si ritrovano nell'area portuale e di foce sono di origine marino-fluviale, dove l'effetto trasportatore delle correnti marine mobilita e ridistribuisce nel Golfo di Panzano i materiali scaricati a mare dal fiume Isonzo.

3.3 SORGENTI

Come è possibile osservare in Tavola 5, in corrispondenza della piccola baia racchiusa tra la penisola dell'acquedotto e la retrostante falesia calcarea della Cernizza, risultano sgorgare svariate sorgenti d'acqua dolce in corrispondenza indicativamente del livello medio mare.

Tali venute, osservate ad una scala più ampia, seguono un allineamento sul quale ricadono le stesse risorgive del Timavo ed altri apparati sorgentiferi più a nord rispetto a queste ultime. Nel complesso l'allineamento sorgentifero segue il limite geologico tra la formazione dei calcari (sede dell'acquifero carsico) e la formazione del flysh eocenico.

Tale limite, affiorante più a sud già in corrispondenza dell'abitato di Duino, nell'area del Villaggio immerge sotto il livello marino. In tale circostanza, inoltre, si trova sepolto sotto i materiali di riempimento della baia del Villaggio (sedimenti marino-fluviali e riporti) oltre cui, non si esclude, la presenza di altre sorgenti carsiche sotterranee. Tali sorgenti sotterranee alimenterebbero, in concomitanza con gli eventi meteorici, la falda freatica ivi presente e, in

determinate condizioni di piena dell'acquifero carsico di cui sono lo sfogo "parziale", costituirebbero la causa di alcuni fenomeni di rischio idrogeologico caratterizzanti l'area dell'abitato del Villaggio del Pescatore.

In Figura 3.1 si riporta un estratto della carta idrogeologica, da cui emergono gli allineamenti sorgentiferi evidenti (linea rossa continua) da quelli presumibilmente sepolti (linea rossa tratteggiata).

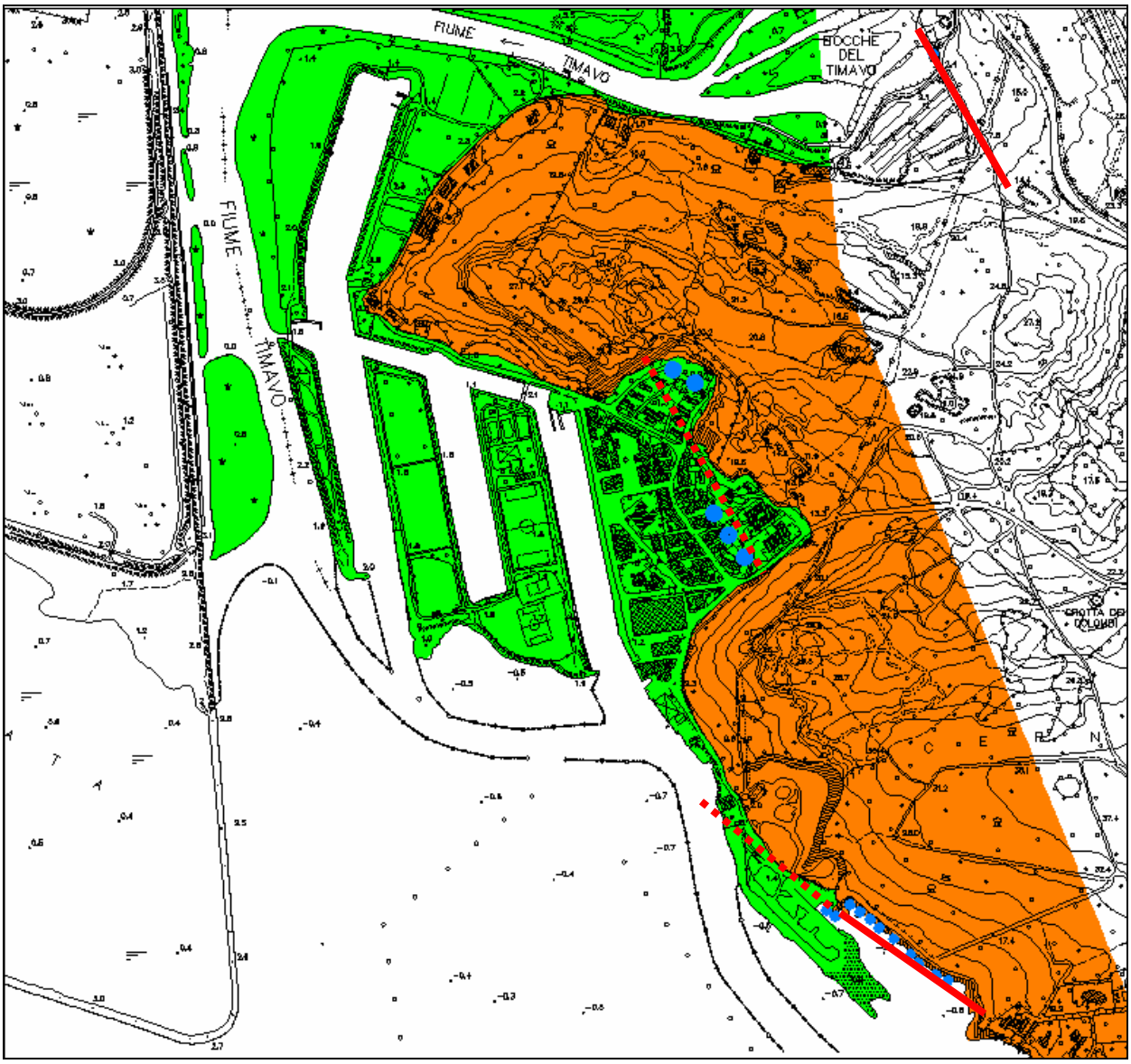


Figura 3.1 – Carta Idrogeologica
Dislocazione areale degli allineamenti sorgentiferi (●)
In ARANCIO l'acquifero calcareo ed in VERDE l'acquifero poroso costiero

3.4 MAREE

Il moto di marea contribuisce al mescolamento dell'acqua nel bacino portuale. Le maggiori variazioni di livello si sviluppano se in concomitanza dell'alta marea soffia anche vento di scirocco e se nell'alto Adriatico si ha bassa pressione atmosferica.

Entro l'ambito del Golfo di Trieste, la marea si comporta in maniera praticamente uniforme, anche se la sua ampiezza cresce leggermente dalle coste friulane a quelle istriane e benché si produca nel contempo una lieve differenza del tempo di comparsa delle alte e delle basse maree sulle due coste. Com'è noto, la marea di questa zona è a carattere semidiurno, cioè con due alte e due basse maree nelle 24 ore, seppure di ampiezza diversa. Vi sono, oltre alle variazioni di livello giornaliere, anche quelle mensili, nonché un andamento annuale, sensibile soprattutto per il livello medio, legato a cause meteorologiche-climatiche, con massimi livelli generalmente in ottobre-novembre e minimi in febbraio-marzo.

Sulla base storica dei precedenti studi geologici effettuati a supporto dei precedenti PRGC e PRdP, ed a seguito di ulteriori ricerche in merito, si ribadisce l'importanza del fenomeno delle acque alte eccezionali.

La morfologia planoaltimetrica costiera, caratterizzante sia l'abitato del Villaggio del Pescatore, ma anche gran parte delle aree direttamente a ridosso del mare, reca sviluppi altimetrici sul medio mare molto limitati, tali che, in condizioni eccezionali di alta marea, ne favoriscano l'allagamento e la conseguente ingressione marina nell'area.

Considerate le "*Note sul regime idraulico del bacino portuale del Villaggio del Pescatore*" a supporto del precedente piano del porto (1996), si richiamano, come rilevanti per intensità dell'evento e per periodicità del tempo di ritorno, i fenomeni di acqua alta di 1.50 e 2.00 metri sul livello del medio mare, di cui nella citata relazione si riportano analisi sito specifiche e calcoli statistici ad hoc.

Un'eventuale opera in grado di contenere detti eventi, anche solo limitatamente all'area dell'abitato urbano, limiterebbe drasticamente il rischio idrogeologico dovuto all'ingressione marina.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Il Carso (Fig. 4.1), ampiamente illustrato dalla letteratura esistente, è, strutturalmente a grandi linee, un anticlinorio fagliato SE-NW che comprende, in affioramento, terreni cretacico-paleogenici, o più precisamente dall'Aptiano all'Eocene inferiore.

L'area è la regione denominata Carso (italiano), Kras (sloveno) o Karst (tedesco) e corrisponde al "*Triestiner Karst*" dei primi studi di G. Stache e A. Grund, che nel periodo fine '800 inizio '900 hanno definito la sua unitarietà geologica e idrologica. Faglie importanti SE-NW, a carattere regionale, sono: la "*faglia del Rasa*" che interseca il bordo settentrionale del Carso, la "*faglia di Divacia*" (prosecuzione SE del thrust-fault di Udine) che passa nella zona centrale del Carso e provoca localmente la sovrapposizione del Paleocene sul Cretacico, infine, al bordo meridionale, le faglie vicarianti la "*linea di Palmanova*", tra cui la maggiore in affioramento è la "*faglia di S. Giovanni"* (chiamata dagli Autori sloveni "*faglia di Trieste*"), che determinano il sovrascorrimento del Carso sul Flysch eocenico. Per questa ragione il bordo sud-occidentale del Carso Triestino si presenta come una grande scarpata strutturale.
Dal punto di vista geodinamico il Carso presenta un'attività sismica molto debole.

Sull'anticlinorio (chiamato anche, dagli Autori sloveni, "*anticlinorio Trieste-Komen*"), anticlinali locali caratterizzano soprattutto la zona NW (Brestovica, Brje, Vojscika), sinclinali locali caratterizzano invece la zona a settentrione della "*faglia di Divacia*" (Komen, Koprova), mentre brevi pieghe anticlinali-sinclinali sono nella zona sud-orientale (tra Gaberk e Basovizza).
A settentrione il Carso Triestino si chiude in corrispondenza del "*sinclinorio Gorizia-Vipacco*", a meridione in corrispondenza della "*sinclinale Trieste-Capodistria*", entrambi in Flysch eocenico.
Ad oriente, confina (in modo labile) con il Flysch eocenico della "*sinclinale di Senozece*" e dell'area di Brkini, mentre a S della "*sinclinale dell'alto Timavo*" in Flysch (terminazione NW del vasto "*sinclinorio di Rijeka*") confina con la "*anticlinale della Cicarije*".
Ad occidente il Carso confina con le alluvioni del Fiume Isonzo, sotto la cui pianura s'immerge. L'altopiano, parte da quote medie di 600 m nella zona sud-orientale (confine con la zona di Postojna e con il vallone di Materija) giungendo a quote di poche decine di metri nella zona delle Risorgive del Timavo, con una dorsale centrale M. Lanaro-M. Castellaro.

L'aspetto geomorfologico, in generale, è di un altopiano di bassa-media quota a clima temperato (localmente sub-alpino), relativamente ondulato, con ampi pianori, caratterizzato

da doline e da colline residuali, con fasce ad incarsimento più o meno intenso a seconda delle litologie affioranti. L'unica idrografia in diretto contatto con il Carso Triestino è rappresentata dal Torrente Rasa, dal Fiume Timavo superiore/Reka e dal Torrente Rosandra.

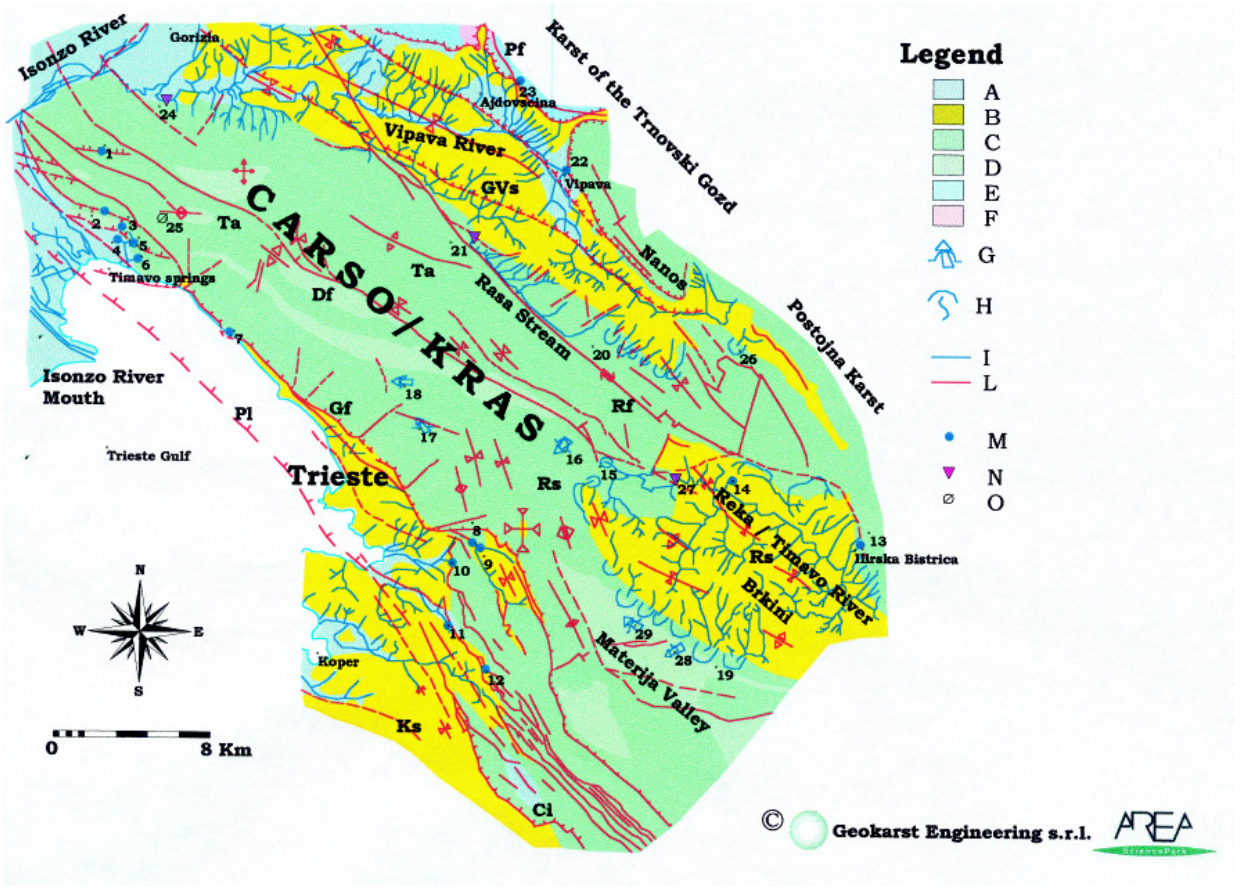


Figura 4.1 – Inquadramento Geologico regionale del Carso

Legenda:
A) Quaternario: depositi: porosità intergranulare;
B) Eocene: Flysch marnoso-arenaceo: rocce impermeabili;
C) Cretacico-Paleocene-Eocene: rocce calcaree: rocce altamente permeabili;
D) Cretacico: rocce dolomitiche: rocce moderatamente permeabili;
E) Giurassico: rocce calcaree: rocce altamente permeabili;
F) Triassico: rocce dolomitiche: rocce moderatamente permeabili;
G) Fiume/torrente sotterraneo;
H) Inghiottitoio;
I) Idrografia;
L)Tettonica;
M) Sorgente;
N) Perdita;
O) Pozzo;
1 = Sorgenti del Lago di Doberdò;
2 = Sorgenti di Sablici;
3 = Sorgenti di Moschenizze;
4 = Sorgenti del Lisert;
5 = Sorgente Sardos;
6 = Risorgive del Timavo;
7 = Sorgenti di Aurisina;
8 = Sorgente Clinciza;
9 = Sorgenti a SE di Botazzo;
10 = Sorgenti di Bagnoli;
11 = Sorgente e Grotta dell.Ospo/Osp;
12 = Sorgente del Risano/Rizana;
13 = Sorgente di Ilirska Bistrica;
14 = Sorgente Podstenjek;
15 = Grotte di S. Canziano/Skocjanske Jame;
16 = Abisso dei Serpenti/Kacna Jama (Timavo ipogeo);
17 = Abisso di Trebiciano (Timavo ipogeo);
18 = Grotta Lazzaro Jerko (Timavo ipogeo);
19 = inghiottitoi dei torrenti del vallone di Materija (Valsecca di Castelnuovo.);
20 = inghiottitoi dei torrenti di Dolenja Vas;
21 = perdite del T. Rasa;
22 = Sorgenti del Vipacco/Vipava;
23 = Sorgente di Hubelj;
24 = perdite del F. Vipacco/ Vipava (a S di Vertoce/Vrtoijba);
25 = pozzi e stazione di pompaggio di Klarici;
26 = inghiottoio del Sajevski potok;
27 = inghiottitoio temporaneo del Reka/Timavo a Vreme;
28= torrente della Grotta del Fumo/ Jama Dimnice;
29= torrente sotterraneo degli inghiottitoi nordoccidentali del vallone di Materija;
Pf = faglia di Predjama;
GVs = sinclinorio Gorizia-Vipacco;
Rf = faglia del Rasa;
Df = faglia di Divacia;
Ta = anticlinorio di Trieste-Komen (o plateau Trieste-Komen.);
Gf = faglia di San Giovanni (o faglia di Trieste); Pl = linea di Palmanova;
Rs = sinclinorio di Rijeka (o bacino paleogenico di Rijeka);
Ci = struttura embriciata della Cicarije (o .struttura a Thrusts della Cicarije);
Ks= sinclinorio Trieste-Koper (o bacino paleogenico di Trieste).

4.1 ASSETTO LITOLOGICO LOCALE

L'area del Villaggio del Pescatore, di limitata estensione areale, è geologicamente caratterizzata da diverse unità affioranti costituite principalmente da calcari, nonché da depositi di copertura quaternaria e da riporti.

La successione è costituita da litotipi originatisi nel Cretacico superiore (Santoniano-Campaniano), corrispondente a 100 milioni di anni fa. Dai termini più antichi a quelli più recenti, la successione è la seguente:

- ✓ Calcari di Aurisina
- ✓ Depositi marino-alluvionali
- ✓ Riporti

Ogni litotipo è il risultato di una collocazione avvenuta in un ben preciso ambiente deposizionale. Di seguito sono descritte le caratteristiche essenziali di ogni litotipo, includendo qualche aspetto paleontologico, e del corrispondente ambiente deposizionale.

La Formazione dei Calcari di Aurisina è caratterizzata dall'associazione di diversi membri di seguito descritti:

- Calcari grigio scuri, più antichi, e quelli grigio chiari, più recenti, contengono fossili piuttosto piccoli, visibili o con una lente di ingrandimento o al microscopio. Si tratta di alghe calcaree, foraminiferi (animali unicellulari dotati di guscio calcareo o agglutinante), ostracodi (crostacei, bivalvi calcarei), ecc. Questi calcari sono il risultato della compattazione di fanghi originatisi in ambienti lagunari. In settori lagunari più protetti (scarso idrodinamismo e, quindi, meno ossigenati) si sono formati i calcari scuri; in altri settori aperti (maggiore idrodinamismo e, quindi, ben ossigenati) hanno avuto origine i calcari chiari.

- Calcari a rudiste sono caratterizzati dalla presenza di questi molluschi costruttori di strutture organogene (biocostruzioni). La loro attività si può ricondurre a quella degli attuali coralli costruttori di scogliere e barriere coralline. L'ambiente di formazione era rappresentato da una laguna ben ossigenata, con locali piccole biocostruzioni e, soprattutto, accumuli di frammenti di rudiste.

- Biocalcareniti sono calcari costituiti da frammenti di gusci e conchiglie di organismi (soprattutto molluschi) di dimensioni della sabbia. All'interno si possono rinvenire anche ricci di mare (dimensioni 2-3 cm circa) e Keramosphaerina tergestina, un importante foraminifero (dimensioni 1 cm circa). L'ambiente deposizionale riconosciuto è una laguna aperta ad alto idrodinamismo con fondali di sabbia organogena.

I depositi quaternari, costituiscono essenzialmente le sponde del Fiume Timavo, buona parte del territorio pianeggiante su cui è sviluppato il Villaggio ed i fondali del porto e della foce. Si tratta di materiali prevalentemente coesivi o pseudo-coesivi costituiti da limi, e/o limi sabbiosi di origine fluviale e marina di colore nocciola a volte commisti a modeste plaghe di materiali di riporto.

I riporti, caratterizzano il settore fronte mare dell'ambito in esame e cioè: gran parte dello strato superficiale del substrato di terreno su cui poggia l'abitato del Villaggio del Pescatore, l'area su cui sono insediati gli edifici utilizzati dalle varie strutture che si occupavano dell'allevamento dei molluschi nel Golfo di Trieste, il terrapieno adiacente alla Baia degli Uscocchi utilizzato per l'acquedotto triestino, nonché la parte più superficiale (rialzata sulla piana tidale) delle isole (mazzuoli e terza isola).
Si tratta di una moltitudine confusa di materiali incoerenti fini e grossolani, costituiti prevalentemente da scarti di cava e macerie anche grossolane. I riporti in questo caso sono ben addensati, commisti a sabbie e limi sabbiosi.

4.2 ASSETTO TETTONICO – STRUTTURALE

I calcari sono solitamente nettamente stratificati, con strati mediamente potenti (da 5-6 cm a 30-40 cm) che hanno una giacitura a direzione prevalente NW-SE, inclinazione da 30° a 40° con immersione a SW. L'inclinazione aumenta irregolarmente procedendo dall'entroterra verso costa, mentre la direzione ha lievi variazioni.

Non si sono rilevate importanti faglie, tuttavia non sono infrequenti piccoli specchi di faglia, che indicano limitati movimenti lungo i piani di strato o lungo discontinuità subverticali, e tratti intensamente suddivisi, quasi brecce di frizione. Le modeste dislocazioni lungo piani con valori di inclinazione generalmente elevati, presentano spesso una lieve componente trascorrente sinistra.

Il sistema locale di suddivisione della massa rocciosa vede la presenza di numerose famiglie di discontinuità. Oltre ai piani di strato (rappresentabili da piani a direzione NW-SE, inclinazione di 40° verso SW), sono sempre presenti famiglie subverticali orientate da NNE-SSW a NE SW (spesso comprendenti faglie a debole rigetto con componente trascorrente anche prevalente) e una famiglia a direzione WNW-ESE inclinata di 25° verso NE.

In Figura 4.2 e 4.3 è riportato l'assetto geologico strutturale della regione Friuli Venezia Giulia, con specifica sezione di un transetto ortogonale alla linea di Palmanova (sezione E-E'), estratte dalla Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia.

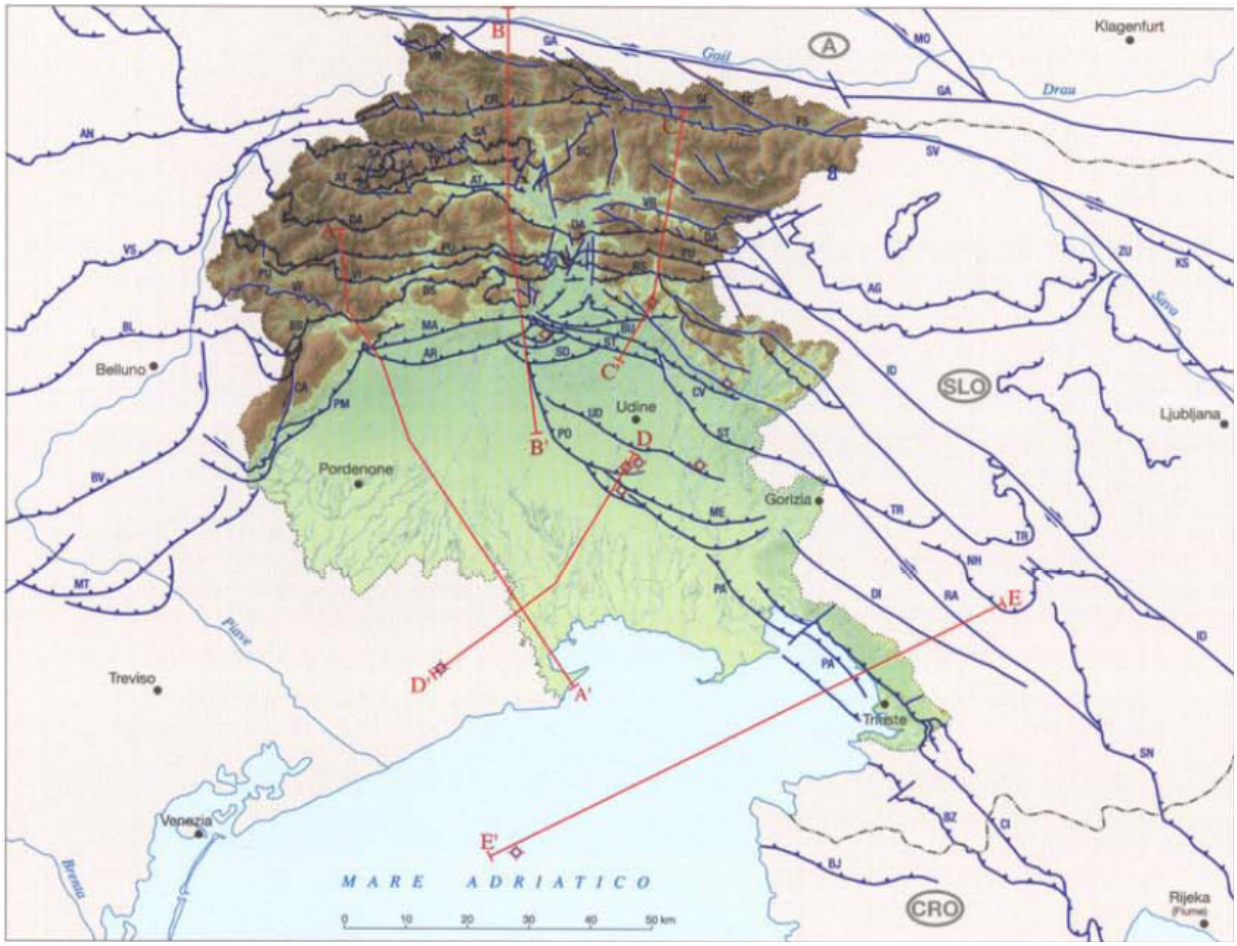


Figura 4.2 - Assetto geologico-strutturale regionale

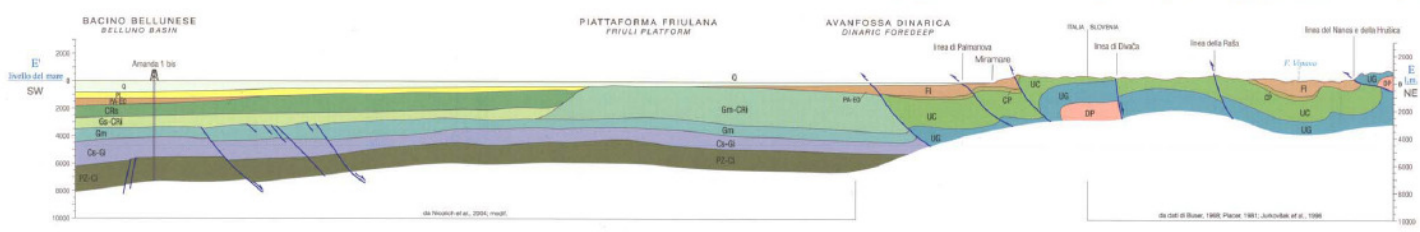


Figura 4.3 – Sezione Geologica E-E'

4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Sulla base delle osservazioni fatte in sito, dall'elaborazione delle immagini satellitari e dall'interpretazione dei processi morfodinamici in atto si è proceduto alla redazione della carta geomorfologica riportata in Tavola 3.

Gli elementi significativi che caratterizzano il sito di studio possono essere riassunti secondo la seguente schematizzazione:

- ✓ Forme strutturali
- ✓ Forme di versante dovute alla gravità
- ✓ Forme fluviali e di versante per dilavamento
- ✓ Forme carsiche
- ✓ Forme marine
- ✓ Forme antropiche

4.3.1 FORME STRUTTURALI

Trattasi di ***orli di scarpata morfologica*** dati dalla giacitura litologica degli strati calcarei. Tali orli di scarpata determinano un netto cambio di pendenza nel versante, e sono determinati da ***superfici strutturali*** ben definite che favoriscono nel tratto a valle del limite una lisciviazione della roccia più marcata rispetto al tratto di monte, sul quale, viceversa, si osserva la possibilità di formazione ed evoluzione degli orizzonti pedologici.

4.3.2 FORME DI VERSANTE PER GRAVITÀ

In questa tipologia di forme rientrano sia alcune ***nicchie di frana per crollo*** e sia i relativi ***depositi di versante*** lapideo detritici che si accumulano alla base delle pareti di cava. A causa della notevole vicinanza all'edificato e ad alcune infrastrutture, questi depositi sono spesso smantellati per opera dell'uomo. Data la loro temporanea permanenza questi depositi non sono cartografabili. In carta vengono pertanto indicate le aree ad ***instabilità gravitativa***.

4.3.3 FORME FLUVIALI E DI VERSANTE PER DILAVAMENTO

L'area in oggetto, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, si trova alla foce del fiume Timavo, che sfocia a mare attraverso un ***delta ad estuario***. Sebbene il trasporto solido totale del Timavo sia esiguo, l'area del Villaggio risente anche degli apporti sedimentari del fiume Isonzo trasportati fino al porto dalle correnti marine.

Si rilevano pertanto delle ***barre fluviali*** laterali, che nel breve tratto superficiale del fiume Timavo, ne accompagnano il deflusso sino a mare. Queste aree, generalmente interdigitate con le rade ***piane alluvionali*** costiere del sistema deltizio, sono intensamente

assoggettate all'azione dell'uomo. Altri elementi geomorfologichi legati all'azione degli eventi esogeni sono le ***superfici con forme di dilavamento diffuso***, che nell'area di interesse si sovrappongono alle superfici strutturali precedentemente descritte.

4.3.4 FORME CARSICHE

Queste forme, sebbene molto diffuse e predominanti il territorio circostante, nell'area in esame ricoprono soltanto piccoli settori marginali. Questo perché le stesse formazioni calcaree su cui si generano ricoprono una minima parte della superficie interessata dal piano.

Le uniche forme rilevate nell'area e nelle immediate vicinanze sono i ***campi solcati*** (*Karren*), che interessano completamente le formazioni calcaree affioranti e sono caratterizzate dalla classica conformazione a "solchi paralleli". Tale struttura deriva da una dissoluzione concentrata nelle aree a maggior fragilità e quindi permeabilità, quali sistemi di fratturazione e giunti di stratificazione.

Altri caratteri morfologici prettamente carsici sono gli ingressi a ***cavità sotterranee***, con o senza acqua, che nelle vicinanze risultano svilupparsi in prevalenza verticalmente.

4.3.5 FORME MARINE

Nell'area sono presenti diverse morfologie legate al moto ondoso ed al regime delle maree, che nel caso specifico si sommano agli effetti fluviali sul delta del Timavo. Nell'area, e nello specifico in concomitanza delle barre fluviali, si instaurano alcune ***zone paludose*** caratterizzate dalla classica vegetazione di ambienti salmastri.

Un'altra forma tipicamente marina è la piana tidale, della quale nel presente elaborato, è stata enfatizzata la ***zona intertidale.*** Caratterizzata dall'emersione e sommersione ciclica dei fondali a seguito dei moti di marea, è distinguibile anche dall'assenza di vegetazione aerea pioniera in grado di colonizzare queste aree assai inospitali. Qualora il substrato lo permetta (ammassi rocciosi o scogliere), la zona intertidale è popolata da comunità algali in grado di sopravvivere ai ciclici moti di emersione.

Un'ultima forma morfodinamica rilevata nell'area è una modesta attività erosiva alla sponda ovest della terza isola, a causa di moti ondosi particolarmente intensi. Questa ***sponda in erosione*** è cosparsa di nicchie di frana sino al limite massimo di intrusione delle onde attraverso il corso del Timavo, oltre cui perdono d'intensità e la morfologia viene dominata dalle aree paludose delle barre fluviali. Le ***nicchie di frana*** sono pertanto in balia degli eventi ondosi più intensi, i quali, scalzando al piede la sponda ed allontanando a mare il materiale eroso, instaurano nella riva un'instabilità diffusa ed una continua evoluzione del fenomeno.

4.3.6 FORME ANTROPICHE

In tale classificazione rientrano molteplici esempi di opere e forme di cui l'uomo è l'artefice primario. Generalmente sono opere a difesa di altre infrastrutture o opere il cui uso e la cui esistenza favorisce ed ha favorito ed incrementato lo sviluppo produttivo del territorio.
In questo contesto rientrano le opere litoranee di ***difesa aderente***, nella fattispecie sia massicciate costituite da grossi blocchi calcarei o arenacei (***scogliera***), sia da opere in c.a. a costituzione della ***banchina portuale***.

Esistono, inoltre, due aree che in passato hanno ospitato attività estrattive di calcare ed ora si presentano come ***cave abbandonate***. Queste aree sono delimitate al margine da ***orli di scarpata di cava*** in parte stabilizzati, e relativamente al loro recupero ambientale è ad oggi sospeso soltanto quello relativo all'area della cava della Cernizza. La seconda cava, più antica, è stata occupata già negli anni '50 dal primo insediamento residenziale del Villaggio del Pescatore (Fig. 1.3). Detta cava, di cui mancano riferimenti bibliografici noti, e da cui si suppone l'effettiva antichità dello scavo, è caratterizzata da una tipica forma ad insenatura, in un versante roccioso, i cui caratteri geologici sono in netto contrasto con un'evoluzione naturale della morfologia. Infatti, i piani giaciturali dei banchi calcarei vengono tagliati di netto dalle pareti dell'insenatura, mettendo in affioramento i calcari che altrove nell'area sarebbero ricoperti da strati di alterazione e talora ben ricoperti da vegetazione. Altro elemento caratterizzante quest'antica area di cava sono le superfici di dilavamento diffuso già descritte in precedenza. Tali superfici, corrispondono ai piani di stratificazione della formazione calcarea, che messi a nudo dalle attività estrattive, hanno subito gli effetti logoranti degli agenti atmosferici, che hanno impedito la deposizione ed evoluzione di orizzonti pedologici stabili.

Buona parte dell'abitato dell'area è costruita su terreni e materiali di riporto il cui grado di consolidazione non si configura tra i substrati a maggiore portanza geotecnica. Tale situazione si manifesta in una ***subsidenza*** residua dell'area, a seguito della costruzione dell'edificato (appoggiato su questi terreni poco coerenti) che ne ha accentuato i naturali fenomeni di consolidazione.

Rientrano in questa classificazione antropica anche tutti i ***canali artificiali portuali*** e di accesso all'area portuale attraverso i bassi fondali del delta, delimitati visivamente dalle *bricole*.

Riguardo alle isole denominate "mazzuoli" si evidenzia la presenza di un modesto ***argine perimetrale*** in terra, a probabile difesa dal fenomeno dell'acqua alta, delle strutture sportive interne alle isole. Le dimensioni di detto rilevato sono molto discrete, di ca. 0.5 m sul

p.c., ma certamente l'efficienza di detta opera in condizioni limite, di alta marea eccezionale, ha asservito all'utilizzo preposto. In questa sede, peraltro, si manifesta perplessità sull'attuale efficienza dell'argine, giacché sono facilmente individuabili svariate discontinuità perimetrali che interrompono la linearità strutturale del rilevato, talora anche per decine di metri.
E' evidente che la necessità di protezione dei mazzuoli dal rischio ingressione marina è proporzionale al tempo di ritorno di detto fenomeno, che per le isole è maggiore rispetto all'area del Villaggio, trovandosi ad una quota di poco superiore le prime rispetto al secondo. Ciò a dimostrazione che, qualora un evento naturale si manifesti ad intervalli di tempo elevati, la sensazione della sua dannosità scende al punto di far scadere la cura e la manutenzione di un'opera di difesa in abbandono della stessa.

4.4 ASSETTO COSTIERO

Nella fascia costiera d'interesse possono essere distinte due tipologie di costa predominante, subordinate alla natura dei litotipi del substrato ed all'uso antropico del territorio.
In particolare è possibile riconoscere le seguenti forme:

- ✓ Costa alta calcarea
- ✓ Costa bassa alluvionale

COSTA ALTA CALCAREA

Dal punto di vista geologico, la costa alta in oggetto deve la propria morfologia a falesia, al substrato calcareo di cui è composta. Tali rocce, sebbene direttamente assoggettate dall'azione erosiva del mare, dato il loro grado di consolidazione, offrono una notevole resistenza agli agenti esogeni. Questa caratteristica implica una tendenza all'erosione molto meno marcata rispetto ad altre litologie, ed i cui effetti si ripercuotono anche sulle morfologie dei fondali prospicienti costa, generalmente profondi.

Nell'area del Villaggio, ed in particolare a sud della cava della Cernizza, ove è ubicata questa tipologia di costa, la presenza della piccola baia retrostante la penisola dell'acquedotto, consente ai materiali fini trasportati dal mare e provenienti dalle foci fluviali di accumularsi dando luogo a fondali bassi, e talvolta permettere l'emersione di alcune piccole spiagge, protette dall'azione erosiva delle correnti litoranee.

COSTA BASSA ALLUVIONALE

Essendo l'area del Villaggio ubicata sul delta fluviale del Fiume Timavo, sussistono le condizioni per la formazione di coste basse costituite da sedimenti alluvionali fini. Come già accennato in precedenza, parte di questi sedimenti hanno provenienza Isontina (per effetto delle correnti di trasporto marine). La morfologia dei fondali tende a seguire l'andamento dolce della costa emersa, presentando la batimetrica 10 (metri) molto al largo rispetto alla costa. Considerati i pochi dati specifici non è possibile fornire un quadro più dettagliato delle batimetrie specifiche dell'area portuale.

Tale costa, inoltre, date le sue caratteristiche morfologiche appetibili è sede di un complesso portuale, che ha determinato un riassetto delle caratteristiche originarie del territorio e la sua trasformazione attraverso forme prettamente antropiche di utilizzo costiero dell'ambiente marino.

4.5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Dal punto di vista geotecnico l'area oggetto del presente studio è suddividibile in due classi a caratteristiche omogenee, di seguito descritte:

CLASSE A ➔ Aree con substrato roccioso o prevalentemente roccioso, anche se alterato (regolite) e frammisto a depositi fini, con un livello di compattazione elevato ed in grado di sopportare sollecitazioni litostatiche tali da non subire considerevoli processi di consolidazione.

CLASSE B ➔ Aree con substrati sciolti, prevalentemente sabbie e limi sabbiosi ed argillosi talora sovrastati da riporti, con caratteristiche geotecniche molto scadenti, che in condizioni di ulteriori stress litostatici tendono ad ulteriori consolidazioni, talvolta con valori dei cedimenti significativi.

Per la realizzazione di eventuali opere su tali aree è opportuna un'indagine sito specifica al fine di determinare l'effettiva capacità portante di detti terreni nonché l'eventualità di scaricare i carichi eccessivi al substrato di classe A, sepolto da detti depositi.

Tale litologia è altresì suddividibile in n° 2 strati a caratteristiche geotecniche diverse.

Un primo strato superficiale poco compatto con scarse caratteristiche di resistenza, indicativamente sino ai 5 m da p.c., appoggiato su di un secondo strato più compatto mediamente con caratteristiche geotecniche migliori.

5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il presente capitolo illustra, in modo sintetico, gli aspetti idrogeologici fondamentali del Carso Triestino (o semplicemente Carso). Trattasi di un territorio caratterizzato da un carsismo di bassa-media quota e costiero, di tipo misto (autogenig-allogenic karst system), con un grandioso reticolo di cavità. In particolare viene illustrata la zona costiera dell'acquifero carsico, dove sono presenti le sorgenti del sistema, con le Risorgive del Timavo ed in cui il Villaggio è adagiato alle pendici.

Il Carso Classico (che comprende il Carso sloveno, quello triestino e quello isontino o monfalconese) è una idrostruttura a pianta quasi rettangolare che si estende per circa 750 Km^2 e contiene quello che genericamente viene definito l'acquifero del Timavo ipogeo.
Dal punto di vista stratigrafico l'idrostruttura è formata da depositi di piattaforma carbonatica di età compresa fra l'Aptiano e l'Eocene inferiore, potenti fino a 2000 m e sovrastati da depositi torbiditici (in facies di flysch) di età Eocene inferiore. La sequenza è disposta ad anticlinale, con il fianco meridionale asimmetrico, da molto inclinato a rovesciato e sovrascorrente sul Flysch, tramite una o più faglie a basso angolo.
La struttura è orientata SE-NW: a SE vi è il bacino di alimentazione non carbonatico (con l'inghiottitoio delle Škocjanske Jame), a NW la zona sorgentifera. A NE ed a SW le assise calcaree sono limitate dalle torbiditi che fungono da acquiclude.

È un territorio in evoluzione geomorfologica da più di 10 milioni di anni in cui si è generato, per carsismo, un vasto e diffuso reticolo eterogeneo e non uniforme di vuoti più o meno ampi e più o meno collegati: all'interno della massa rocciosa carbonatica si è generata una rete ad alcuni dreni dominanti cui fanno capo localmente numerosi dreni interdipendenti. Ne consegue la presenza di molteplici vie di drenaggio preferenziale, alcune delle quali importanti e ad altissima trasmissività idraulica, e di una circolazione semidispersiva nella fitta rete di condotti e fratture, con tratti anche sifonanti, e di più zone sature interdipendenti.

Il sistema sorgentifero ubicato nel settore nord-occidentale del Carso Classico (una ventina di chilometri quadrati in tutto) è complesso (Fig. 5.1), e consiste nelle Risorgive del Timavo a San Giovanni di Duino (quattro bocche principali da cui fuoriesce la gran parte delle acque), negli specchi d'acqua del Lago di Doberdò e del Lago di Pietrarossa, in alcune sorgenti minori che alimentano i canali (in gran parte artificiali) Lisert e Moschenizze e dalle

sorgenti marinocostiere sparse lungo la costa del Golfo di Trieste da Aurisina a Duino al Villaggio del Pescatore (circa 7 km di costa alta). Complessivamente si tratta di acque che provengono da acquiferi diversi ma interconnessi, con portata alle sorgenti complessiva media stimabile in 40 m^3/s; le portate massime, mai calcolate nella loro interezza, sono sicuramente superiori ai 175 m^3/s.

Il sistema idrogeologico del Carso Classico è costituito da un reticolo di dreni principali, a maggiore conduttività idraulica, che a sua volta risulta "immerso" in una rete diffusa di discontinuità, a minor conduttività idraulica: in tale contesto la circolazione risulta essenzialmente condizionata dall'orientamento spaziale delle discontinuità e delle strutture tettoniche (Cucchi et Al., 2002).

Come più volte accennato, l'idrostruttura carsica (circa 750 Km^2) è alimentata dalle acque di percolazione legate alla piovosità (sintetizzando: Carso Triestino, circa 250 Km^2 sui quali piovono 1200-1400 mm; Carso Sloveno, circa 500 Km^2 sui quali piovono 1500-1800 mm; Selva di Ternova e Monte Nevoso con 1800-2500 mm di pioggia con picchi fino a 3000 mm annui), dalle acque provenienti dal bacino del fiume Reka (circa 800 Km^2 sui quali piovono circa 1800 mm annui), dai fiumi Isonzo e Vipacco.

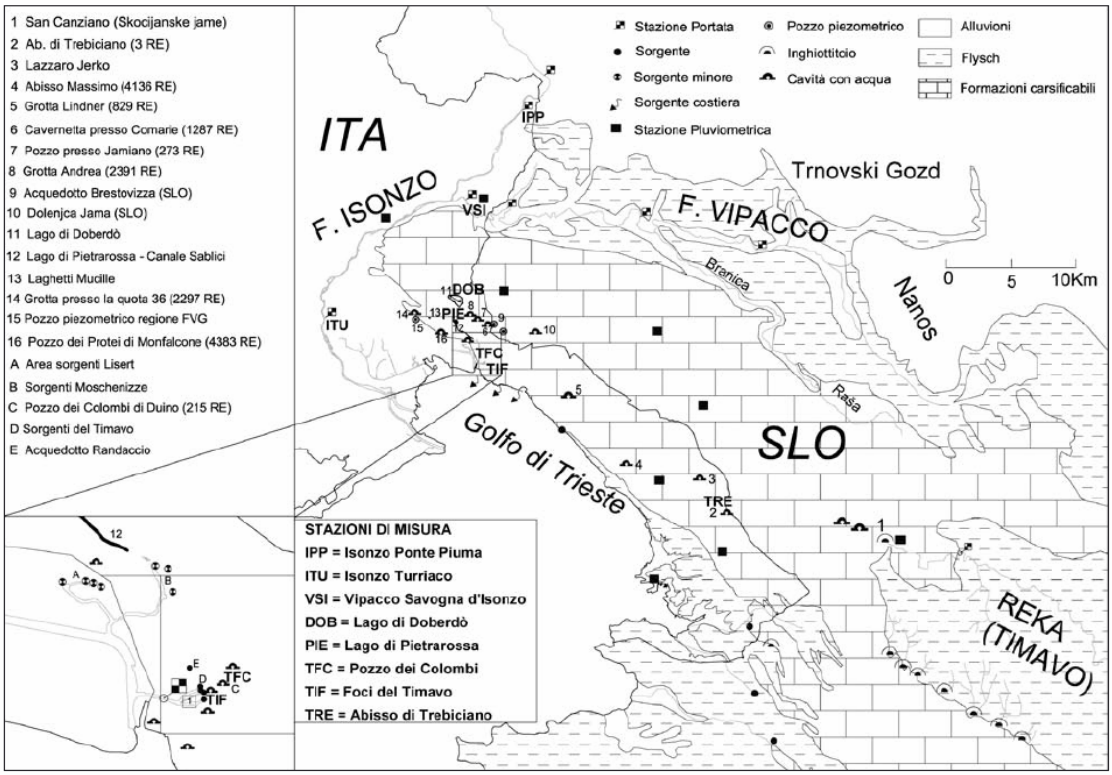


Figura 5.1 - Inquadramento idrogeologico del sistema sorgentifero (fonte: Samez D.)

In particolare nel Carso isontino, il cui settore meridionale "ospita" il sistema sorgentifero, l'alimentazione proviene in parte dalle acque meteoriche che attraversano piuttosto rapidamente la zona vadosa intensamente carsificata, in parte da apporti della falda ipogea del Carso Classico (che a sua volta si alimenta oltre che dalle precipitazioni dagli apporti sudorientali del Reka), in parte dalle perdite laterali dell'Isonzo e marginalmente del Vipacco (Gemiti, 1979).
La presenza di apporti isontini all'area delle sorgenti è accertata qualitativamente dalla presenza di alcuni traccianti naturali (Doctor et Al., 2000; Flora et Al., 1990; Reisenhofer et Al., 1998). L'entità degli apporti risulta difficilmente stimabile e comunque molto variabile poiché nell'area delle Foci del Timavo, che rappresenta un punto di deflusso sia della falda del Carso triestino e sloveno sia del Carso isontino, le acque hanno provenienza ed entità variabili in funzione delle condizioni di immagazzinamento e del gradiente piezometrico imposto dalle diverse alimentazioni (Cucchi et Al., 2000).
Allo scopo di verificare i rapporti fra le diverse fonti d'alimentazione, sono state esaminate le modalità di propagazione di una serie di eventi di piena attraverso l'acquifero carsico, e sono stati eseguiti molteplici studi con l'utilizzo di traccianti.

5.1 PIEZOMETRIA E VULNERABILITÀ

Un'importantissima informazione, spesso sottovalutata, è l'individuazione e la localizzazione dei punti di affioramento della superficie piezometrica all'interno delle grotte, e quindi dell'acquifero carsico. In questi casi si dispone di uno o più punti, interni alla struttura, per determinare il gradiente piezometrico, misurarne le sue oscillazioni, e prelevarne campioni di acqua.
Tali informazioni possono essere correlate ai dati piezometrici rilevati nell'acquifero poroso costiero, e confrontati per la definizione scientifica di alcuni fenomeni idrogeologici non ancora del tutto chiari.
Ad ora, relativamente all'acquifero costiero del Villaggio ed a quello carsico, limitatamente all'area di interesse non esiste una rete di monitoraggio piezometrico, tale da poter dare indicazioni sito specifiche.

Altro fattore fondamentale nella descrizione del deflusso sotterraneo delle acque è quello della vulnerabilità all'inquinamento. La rapidità del trasferimento delle acque sotterranee che caratterizza le aree carsiche porta diverse conseguenze, essenzialmente legate

all'assenza o alla riduzione dell'effetto di autodepurazione delle acque meteoriche che avviene durante l'infiltrazione e il transito attraverso la zona non satura degli acquiferi.
Quando esistono punti di infiltrazione concentrata delle acque sotterranee (inghiottitoi), può verificarsi che, in concomitanza con l'evento piovoso, vengano convogliate nel sistema carsico in tempi molto rapidi le sostanze eventualmente presenti sulla superficie. Queste possono comprendere prodotti per l'agricoltura, deiezioni legate alla pastorizia o addirittura (come avviene spesso) animali morti. Tali sostanze possono arrivare in tempi molto rapidi alle sorgenti (ore o pochi giorni), ed essere restituite con concentrazioni tali da costituire un rischio per la salute degli eventuali utilizzatori della risorsa idrica. Se l'infiltrazione è diffusa, in assenza quindi di inghiottitoi, doline o altri punti ad infiltrazione preferenziale, la vulnerabilità della falda è inferiore, poiché gli apporti non sono concentrati e il tempo necessario all'infiltrazione efficace per raggiungere la falda potrebbe essere relativamente lungo (dell'ordine dei diversi giorni o qualche settimana, Preziosi et al., 1995). In questo caso potrebbe essere non del tutto trascurabile l'effetto di autodepurazione, legato ai processi chimici, fisici e biologici che avvengono innanzitutto nel suolo e quindi nell'acquifero non saturo.

5.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE

Dal punto di vista idrogeologico, l'area del Villaggio del Pescatore è condizionata da due importanti unità idrogeologiche principali, che determinano ed equilibrano il regime idraulico nel sottosuolo.
Tali unità corrispondono alle medesime formazioni litologiche descritte al Cap. 4.1, che date le caratteristiche intrinseche del mezzo poroso si configurano come ottime unità acquifere.
La suddivisione rispecchia la seguente classificazione:

- ✓ ***Acquifero carsico*** → le diverse formazioni a calcari oltre ad essere interessate da un modesto grado di fratturazione, sono completamente assoggettate al fenomeno del carsismo precedentemente descritto, attribuendo pertanto al mezzo poroso discontinuo una permeabilità idraulica media molto elevata. Da letteratura si stimano valori di conducibilità media di $1x10^{-2}$ m/s.
- ✓ ***Acquifero poroso costiero*** → tale unità trova sede nei depositi sedimentari fluvio-marini e nei riporti che costituiscono le formazioni di materiale fine lungo costa, a contatto con le formazioni calcaree che ne costituiscono il substrato roccioso basale.

Questa unità, costituita da limi prevalentemente sabbiosi e argillosi, prograda, in corrispondenza del limite di contatto con i calcari, attraverso uno strato di regolite di spessore molto variabile. La regolite è uno strato di alterazione della roccia madre, ad opera dei processi di degradazione litologica (fisici e chimici), identificabile da depositi simili ad accumuli di brecce o conglomerati ghiaiosi molto spigolosi e mal cerniti.
Tale acquifero costiero è alimentato direttamente dalla ricarica meteorica e da apporti laterali provenienti dalle formazioni calcaree.

Da letteratura il complesso dei sedimenti può essere caratterizzato mediamente da una permeabilità idraulica stimata di $1x10^{-5}$ m/s.

6 CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE

Il seguente studio prende in considerazione, altresì, diverse problematiche idrogeologiche specifiche del Villaggio, che hanno arrecato danni e difficoltà nel corso degli anni passati e possono arrecare un rischio potenziale per persone e cose nell'area di interesse.

Le criticità rilevate possono schematizzarsi come segue:

A. INGRESSIONE MARINA → a seguito di situazioni eccezionali di alta marea o mare grosso (1.5 ÷ 2.0 m s.l.m.m.), si verificano fenomeni di allagamento del centro urbano residenziale del Villaggio del Pescatore e di buona parte delle aree fronte mare, isole comprese. Tale evento è presumibilmente coadiuvato dalla limitata elevazione della banchina e del piano campagna delle aree interessate.

B. SUBSIDENZA → l'area dell'abitato nonché la quasi totalità delle aree pianeggianti fronte mare, sono costituite da sedimenti fluvio-marini e da materiali di riporto, il cui grado di addensamento e consolidazione è assai blando e scadente. La recente formazione geologica di detto substrato, comporta un naturale processo di consolidazione del materiale che con il passare del tempo tende ad assestarsi e ad addensarsi. Considerando la recente genesi dei depositi e l'altrettanto recente sviluppo urbanistico, si considera detta criticità una normale evoluzione del substrato che, in risposta alle sollecitazioni indotte dall'edificato sovrastante, ne enfatizza ed accelera l'effetto.
Detto fenomeno generalmente, presenta il massimo della deformazione nel breve periodo lasciando al medio-lungo periodo di consolidazione soltanto le deformazioni residuali.

Si rileva inoltre che non esistendo serie storiche di rilievi plano altimetrici risulta impossibile un riscontro scientifico di detto fenomeno su tutta l'area del Villaggio.

C. STABILITÀ DI VERSANTE → relativamente all'area "antica" dell'abitato (costruito entro una antica cava di prestito abbandonata) ove sono ubicati i primi insediamenti del Villaggio e all'area della cava della Cernizza, si rilevano condizioni d'instabilità dei versanti rocciosi costituenti le pareti delle ex cave. Tali versanti, liberi da qualsiasi opera di

sostegno e protezione, sono caratterizzati da una modesta ma continua attività gravitativa di crollo.

Ruolo fondamentale nell'evoluzione sfavorevole di detti processi gravitativi è svolto dalla vegetazione arborea ed arbustiva, che riveste le pareti rocciose. La continua espansione e crescita degli apparati radicali induce nell'ammasso roccioso un aumento ed un'evoluzione del sistema di fratture, che associato ai stagionali processi di weathering, provoca la mobilitazione di materiale detritico lapideo.

D. EROSIONE COSTIERA → questo fenomeno geomorfologico riguarda la sponda ovest della terza isola. Il tratto interessa quasi interamente la lunghezza della sponda, non fosse per le opere di difesa aderente (scogliera leggera) che ne proteggono l'estremità meridionale. La causa principale di detto processo erosivo è dovuto ad eventi molto intensi del moto ondoso. L'onda, frangendosi sulla riva della barra fluviale, provoca uno scalzamento al piede della sponda ed un contestuale allontanamento del materiale movimentato, causando nel sistema, un deficit sedimentario lungo tutto il tratto interessato dalla zona di frangente. L'allontanamento del materiale è peraltro coadiuvato dalla corrente fluviale, che in questo contesto contrasta l'ingressione del moto ondoso; risulta evidente che maggiore sarà la forza del mare maggiore sarà l'area d'interferenza sul delta del Timavo.

7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le criticità ambientali precedentemente illustrate, possono essere risolte mediante l'utilizzo di soluzioni tecniche in grado di diminuire sensibilmente il rischio idrogeologico derivante.
Premesso che il concetto di rischio deriva dal prodotto di

R = P x **Vu** x **Val**

in cui
P ➔ *pericolosità* dell'evento idrogeologico specifico, ovvero la probabilità che il fenomeno accada in un determinato spazio, con un determinato tempo di ritorno e con una data intensità;
Vu ➔ *vulnerabilità*, ovvero l'attitudine di un determinato elemento a sopportare gli effetti legati al fenomeno pericoloso (ad esempio nel caso di rischio alluvione, la capacità di un territorio di rimanere allagato o meno);
Val ➔ *valore* che l'elemento esposto al pericolo assume in termini di vite umane, economici, artistici, culturali, ecc.

Considerato tale concetto, relativamente ai punti esposti nel capitolo precedente, si afferma che il parametro in grado di diminuire il rischio idrogeologico specifico, è la vulnerabilità (**Vu**) del territorio.
Di seguito saranno trattate singolarmente le rispettive problematiche descritte al Capitolo 6.

A. INGRESSIONE MARINA → Soluzione per tale problematica potrebbe consistere nell'innalzamento della quota base della banchina portuale a difesa del conglomerato urbano. Relativamente alle aree delle isole, ed alla presenza di un opera di difesa già esistente ma in pessimo stato di manutenzione (argine in terra), se ne consiglia il ripristino. L'intervento consiste nella semplice chiusura e ribaulatura di alcuni tratti in cui l'argine è stato interrotto da eventi erosivi, sia antropici che naturali.

B. SUBSIDENZA→ Come illustrato in precedenza tale fenomeno, non è comprovato scientificamente. Si propone pertanto l'allestimento di una rete di monitoraggio topografico, al fine di monitorare e possibilmente prevedere l'evoluzione di detto fenomeno geologico. Allo stato attuale esiste un unico rilievo topografico in grado di fornire un punto "zero" di partenza per l'interpretazione dei processi naturali in atto.

Come già detto, il processo di subsidenza è un fenomeno naturale "normale" in terreni a scarsa consolidazione. Tale fenomeno è altresì caratterizzato, per i litotipi in oggetto, da una risposta alla tensione geostatica piuttosto immediata, riservando al lungo termine solamente i cedimenti più residuali.

Il monitoraggio pertanto, potrà verificare la potenziale pericolosità del fenomeno, e di conseguenza accertare la necessità o meno di interventi di salvaguardia.

C. STABILITÀ DI VERSANTE → Relativamente ad entrambe le aree potenzialmente a rischio rilevate, si propone la regolamentazione dalla vegetazione arborea delle pareti, e l'installazione di idonee protezioni in grado di controllare i flussi detritici.

D. EROSIONE COSTIERA → Al fine di contrastare detto trend evolutivo, si propone di rafforzare la protezione della sponda per evitare una progressione dell'erosione, seppur limitata ad eventi di mareggiata, che nel tempo arrecherebbe un'indebolimento ed un'erosione eccessiva della terza isola.

8 BIBLIOGRAFIA

BALLARIN L. & SEMERARO R. (1997) – *"Geologia, geomorfologia e carsismo, geoidrologia e idrologia carsica, geologia tecnica, della zona di Trieste"* Ipogea, 2: 39-116 pp.

BALLARIN L., D.AMELIO L., FORTI FU., GENTILLI V., PISELLI S., RAPONI A., SEMERARO R. & VANON R. (2000) - *"L'acquifero carsico nella regione del Carso: sintesi idrogeologica e geochimica*" Ipogea, 3: 13-32 pp.

BOEGAN E., 1938 – *"Il Timavo. Studio sull'idrologia carsica subaerea e sotterranea."* Memorie dell'istituto Italiano di speleologia, Postumia-Trieste, 1-251 pp.

CUCCHI F., FORTI P., MARINETTI E., ZINI L., 2000 – *"Recent developments in knowledge of the hydrogeology of the Classic Karst."* Acta Carsologica, 29/1-4: 55-78 pp.

CUCCHI F., ZINI L., 2002 – *"Underground Timavo river monitoring (Classic Karst)."* Acta Carsologica, 31/1: 75-84 pp.

DOCTOR H.D., LOJEN S., HROVAT M. (2000) – *"A stable isotope investigation of the classical Karst aquifer: evaluating karst groundwater components for water quality preservation."* Acta Carsologica, Ljubljana, 29/1: 79-92 pp.

FLORA O., GALLI G., NEGRINI L., LONGINELLI A. (1990) – *"Studio geochimico-isotopico di alcune sorgenti carsiche: un nuovo modello idrologico."* Atti e Memorie della Commissione Grotte "E.Boegan", Trieste, 29: 83-102 pp.

GEMITI F., LICCIARDELLO M. (1977) – *"Indagini sui rapporti di alimentazione delle acque del Carso Triestino e Goriziano mediante l'utilizzo di alcuni traccianti naturali."* Annali Gruppo Grotte XXX Ott., Trieste, VI: 43-61 pp.

GEMITI F. (1979) – *"Contributo alla conoscenza dell'idrologia sotterranea nella pianura di Gorizia con particolare riferimento all'alimentazione della falda carsica di Doberdò."* Atti 1° Conv. ecologia dei terriritori carsici, Sagrado d.Isonzo 1979: 79-89 pp.

GEMITI F. (1982) – "*Nuove esplorazioni e indagini idrochimiche alle risorgive del Timavo"* Atti 5° Conv. reg. spel. Friuli-Venezia Giulia, Trieste 1981: 161-172 pp.

MENICHETTI M. (1997) – *"Idrodinamica del sistema Reka-Timavo nel Carso (Slovenia, Italia)"* Atti 17° Congr. Naz. Spel., Castelnuovo Garfagnana 1994: 265-276 pp.

OSMER - Osservatorio Meteorologico Regionale dell'ARPA Friuli Venezia Giulia

REISENHOFER E., ADAMI G., BARBIERI P. (1998) – *"Using chemical and physical parameters to define the quality of karstic freshwaters (Timavo river, North-Eastern Italy): a chemometric approach."* Water Res., Vol. 32, No. 4:1193-1203 pp.

SAMEZ D., CASAGRANDE G., CUCCHI F., ZINI L. (2005) – *"Idrodinamica dei laghi di doberdò e di pietrarossa (carso classico, italia): relazioni con le piene dei fiumi isonzo, vipacco e timavo"* Atti e Mem. della Comm. Grotte "E.Boegan", Trieste.