



Provincia di Udine

Area Ambiente

**LA CARTA DELLA VULNERABILITÀ INTRINSECA
DELLE FALDE CONTENUTE NELLE AREE DI PIANURA
DELLA PROVINCIA DI UDINE**

RELAZIONE TECNICA GENERALE

A CURA DEL



**DIPARTIMENTO DI SCIENZE GEOLOGICHE, AMBIENTALI E
MARINE**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE

2 aprile 2003



**LA CARTA DELLA VULNERABILITÀ INTRINSECA DELLE FALDE
CONTENUTE NELLE AREE DI PIANURA DELLA PROVINCIA DI UDINE**

RELAZIONE TECNICA GENERALE

INDICE

1	Premessa	1
2	Le caratteristiche idrogeologiche generali	4
2.1	<i>Il territorio</i>	4
2.1.1	Il Campo di Osoppo e Gemona	5
2.1.2	L' Anfiteatro morenico del Tagliamento	6
2.1.3	La Pianura friulana nella Provincia di Udine	7
2.1.3.1	L' Alta pianura	9
2.1.3.2	La Linea delle risorgive e la Bassa pianura	10
2.2	<i>I corsi d'acqua e l'alimentazione delle falde</i>	10
2.2.1	L'Isonzo	11
2.2.2	Il Torre	12
2.2.3	Il Malina	12
2.2.4	Lo Judrio	12
2.2.5	Il Natisone	13
2.2.6	Il Tagliamento	14
2.2.7	Il Corno e il Cormor	14
2.2.8	I fiumi di risorgiva	15
2.2.9	Lo Stella	16
2.2.10	L'Aussa-Corno e i corsi minori in sinistra Tagliamento	16
2.2.11	Le precipitazioni	17
2.3	<i>Gli acquiferi e le falde</i>	18
2.3.1	Il Campo di Osoppo e Gemona	18
2.3.2	L' Anfiteatro morenico	19
2.3.3	La Pianura	20
2.3.4	I deflussi e le correntometrie	24
2.3.5	Lo schema idrogeologico delle falde artesiane	27
2.3.5.1	La Falda A	28
2.3.5.2	La Falda B	29
2.3.5.3	La Falda C	29
2.3.5.4	Le Falde D ed E	29
2.3.5.5	Le Falde F e G	29



2.3.5.6	Le Falde H, I e L	30
2.3.6	La Fascia lagunare e perilagunare	30
3	La Vulnerabilità degli Acquiferi – Metodo SINTACS R5	32
3.1	<i>I concetti teorici sulla vulnerabilità degli acquiferi</i>	32
3.2	<i>Il metodo SINTACS R5</i>	34
3.2.1	La discretizzazione dell'area	36
3.2.2	La Carta della Soggiacenza	37
3.2.3	La Carta dell'Infiltrazione efficace	37
3.2.4	La Carta dell'effetto di autodepurazione del Non-saturo	39
3.2.5	La Carta della Tipologia della copertura	40
3.2.6	La Carta della tipologia dell'Acquifero	41
3.2.7	La Carta della Conducibilità idraulica	42
3.2.8	La Carta dell'acclività della Superficie topografica	42
3.2.9	La Carta dei PESI	42
4	Le Carte della Vulnerabilità Intrinseca	46
4.1	<i>Carta delle isofreatiche e della rete di monitoraggio</i>	46
4.2	<i>Il Modello tridimensionale (TIN)</i>	47
4.3	<i>La Carta delle isoiete e la Carta delle isoterme</i>	47
4.4	<i>La Soggiacenza</i>	50
4.5	<i>L'Infiltrazione efficace</i>	51
4.6	<i>Il Non-saturo (effetto di autodepurazione)</i>	52
4.7	<i>La Tipologia della copertura</i>	54
4.8	<i>L'Acquifero (caratteristiche idrogeologiche)</i>	55
4.9	<i>La Conducibilità idraulica</i>	56
4.10	<i>La Superficie topografica (acclività)</i>	57
4.11	<i>I Pesi</i>	58
4.12	<i>La Carta della Vulnerabilità</i>	58

Alla **Relazione tecnica** si accompagna la **Carta della Vulnerabilità**
alla scala 1:50.000 in due fogli.



**LA CARTA DELLA VULNERABILITÀ INTRINSECA
DELLE FALDE CONTENUTE NELLE AREE DI PIANURA
DELLA PROVINCIA DI UDINE**

1 Premessa

La convenzione di ricerca tra la Provincia di Udine - Area Ambiente e il Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine (Di.S.G.A.M.) dell'Università degli Studi di Trieste, prevede la predisposizione della *Carta della vulnerabilità intrinseca delle falde contenute nelle aree di pianura della Provincia di Udine*, elaborata secondo il protocollo S.I.N.T.A.C.S. - R5. E' in essere infatti presso il DiSGAM fin dal 1995 un'Unità Operativa, la U.O. 4.7, che nell'ambito degli studi e delle ricerche svolte dal Consiglio Nazionale delle Ricerche italiano, Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche (CNR-GNDCI), opera nel campo della protezione delle falde idriche. In particolare il gruppo svolge attività di monitoraggio e studio di sorgenti, di falde freatiche e delle principali idrostrutture del Nord Est italiano e predisporre, secondo metodologie comuni e standardizzate, carte della vulnerabilità intrinseca ed integrata delle falde.

Si ricorda al proposito che il D.Lgs n. 152 del 11 maggio 1999 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/Cee concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/Cee relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole" pubblicato sul SO n. 101/L alla GU n. 124 del 29 maggio 1999, stabilisce che l'indagine preliminare di riconoscimento delle zone vulnerabili deve essere effettuata, per le zone dove non è disponibile una mappatura ma esistono sufficienti informazioni



geo-pedologico-ambientali, mediante il metodo di valutazione di zonazione per aree omogenee (metodo CNR-GNDICI) o il metodo parametrico (SINTACS).

In particolare l'area di analisi riguarda il Campo di Osoppo e Gemona e l'Alta e la Bassa pianura friulana comprese fra la sinistra orografica del fiume Tagliamento e la destra del fiume Isonzo, per un'areale che copre circa 1750 km².

Per l'elaborazione delle sette carte tematiche e della carta dei pesi che portano alla elaborazione della carta della vulnerabilità intrinseca secondo una griglia a maglie di 250 x 250 metri, gli elementi conoscitivi di base sono essenzialmente:

- i dati geologici e quelli pedologici sui terreni superficiali,
- i dati litostratigrafici sul sottosuolo,
- i dati pluviometrici e freaticometrici ricavabili dalla rete di monitoraggio regionale,
- i parametri idrogeologici e le caratteristiche idrogeologiche delle acque freatiche ed artesiane,
- i dati topografici desumibili dalle carte numeriche in scala 1:5.000 e 1:25.000.

Presso il DiSGAM quindi, sono state aggiornate, rielaborate o redatte le numerose carte di base necessarie all'elaborazione delle carte tematiche. In particolare si è operato utilizzando le seguenti carte (i cui elementi essenziali sono riportati anche nel Data Base allegato alla Relazione):

- Carta delle isofreatiche, corredata del foglio elettronico con i dati relativi ai pozzi utilizzati per la sua elaborazione;
- Carta delle isoiete, corredata del foglio elettronico con i dati relativi alle stazioni meteorologiche utilizzati per la sua definizione;
- Carta delle isoterme, corredata del foglio elettronico con i dati relativi alle stazioni meteorologiche utilizzati per la sua definizione;
- Modello tridimensionale;
- Carta geolitologica;
- Carta della permeabilità superficiale.

Queste carte, e le conoscenze acquisite dai ricercatori del DiSGAM, hanno consentito la redazione delle sette carte tematiche di base previste dal protocollo



SINTACS:

- **S**oggiacienza
- **I**nfiltrazione efficace
- Effetto di autodepurazione del **N**on saturo
- **T**ipologia della copertura
- Caratteristiche idrogeologiche dell'**A**cquifero
- **C**onducibilità idraulica dell'acquifero
- Acclività della **S**uperficie topografica

La Relazione Tecnica Generale illustra la metodologia seguita nelle diverse fasi della ricerca, le problematiche innestate dal confronto fra tematismi così diversi (e redatti sulla base di dati non sempre alla medesima scala e con la medesima distribuzione territoriale) e analizza la validità del quadro ricostruito, commentando le singole carte tematiche oltre che la carta di sintesi.

In particolare il capitolo 2 tratteggia brevemente il quadro idrogeologico provinciale, attingendo dalle copiose fonti bibliografiche esistenti al proposito. Il capitolo 3 descrive i concetti guida di SINTACS, il protocollo metodologico con cui si è operato, in ossequio a quanto proposto in sede legislativa dal CNR-GNDCI.

Il capitolo 4 illustra e analizza i dati che hanno portato alla redazione delle carte dei parametri, gli studi al proposito appositamente messi in essere dai ricercatori del DiSGAM e gli elaborati prodotti.



2 Le caratteristiche idrogeologiche generali

Il territorio preso in considerazione è ubicato all'estremità nord-orientale del territorio nazionale, limitato a nord dalle Alpi Carniche, ad ovest dal fiume Tagliamento, a sud dal mare Adriatico, ad est dal fiume Isonzo.

Di seguito vengono brevemente illustrati il quadro delle caratteristiche fisiche essenziali di tutta l'area di studio, i caratteri geologici principali e i parametri idrogeologici che la caratterizzano. Ciò al fine di individuare, a grandi linee, i bacini e le aree di alimentazione del sistema idrico sotterraneo, di definire le principali direzioni di deflusso e di valutare i parametri qualitativi e quantitativi delle risorse e delle riserve idriche.

2.1 Il territorio

La provincia di Udine risulta essere molto articolata e distinta in diverse, ben definite, unità strutturali che presentano un andamento grossomodo disposto lungo i paralleli e che formano, da nord a sud, i rilievi montuosi, i rilievi collinari, l'Alta pianura, la Bassa pianura, l'ambito lagunare e la costa (fig. 2.1).

La pianura oggetto di studio, più importante sotto il profilo idrogeologico, può venire suddivisa da un punto di vista operativo in quattro sottozone sostanzialmente omogenee: il Campo di Osoppo e Gemona, l'Anfiteatro morenico del Tagliamento, l'Alta pianura e la Bassa pianura.

L'Alta pianura è costituita da alluvioni grossolane accumulate nella fase di decrescita delle piene da alcuni fiumi e torrenti. Sono presenti imponenti conoidi di deiezione, asciutti gran parte del tempo per l'elevata permeabilità, con i corsi d'acqua morfologicamente caratterizzati da una distesa di alluvioni solcate da una rete di canali appena incisi che costituiscono il letto di magra.

Nella Bassa pianura gli alvei fluviali sono incisi per lo più in terreni di natura argilloso-sabbiosa: la pendenza si riduce notevolmente e l'andamento è tipicamente meandriforme. Il deflusso in condizioni normali si presenta lento e tranquillo, ma in occasione di eventi di piena i corsi d'acqua e in particolare il Tagliamento (1966-1969)



possono tracimare dagli argini.

La Linea delle risorgive divide l'Alta dalla Bassa pianura friulana, identificando il limite dove parte delle acque della falda freatica, che a nord permea i sedimenti ghiaiosi, vengono alla luce in virtù della diminuzione della permeabilità dei depositi, mentre nel sottosuolo si sviluppa un complesso sistema di falde artesiane.

Una particolarità dei fiumi friulani è quella di avere, nel tratto in corrispondenza dello sbocco in pianura, un profilo longitudinale convesso che termina con l'inizio della Bassa pianura. Tale morfologia dipende dall'elevata permeabilità dei depositi che, favorendo un rapido assorbimento di notevoli quantità d'acqua, facilita il deposito del materiale trasportato.

Per quando concerne l'Anfiteatro morenico, esso contiene una falda molto superficiale e non continua, non oggetto dello studio, e viene preso in considerazione solamente per le implicazioni idrogeologiche con il Campo di Osoppo e Gemona, a Nord, e con l'Alta pianura, a Sud.

2.1.1 Il Campo di Osoppo e Gemona

La piana di Osoppo e Gemona ha la forma di un triangolo isoscele e presenta le caratteristiche di una pianura alluvionale compresa tra rilievi montuosi sui due lati e le colline moreniche a sud. Quest'area, sottoposta ad una potente azione abrasiva glaciale, è stata successivamente riempita da sedimenti fluvio-glaciali provenienti, oltre che dal Tagliamento, dai torrenti Vegliato e Orvenco. Per inciso risulta che i sedimenti fluvio-lacustri, a 8-10 m dal piano campagna, abbiano un'età di 8.000 anni.

L'area più settentrionale è caratterizzata da depositi alluvionali prevalentemente grossolani. Si tratta di sedimenti essenzialmente ghiaiosi, solitamente di natura calcarea e calcareo-dolomitica, talora ghiaioso-sabbiosi con sporadiche e deboli lenti di materiale limoso-argilloso che divengono più frequenti verso sud, in corrispondenza della zona di risorgiva ubicata immediatamente a nord dell'Anfiteatro morenico del Tagliamento. L'area a sud del Campo di Osoppo e Gemona sfuma infatti nei rilievi dell'Anfiteatro morenico e nei rilievi silico-clastici e conglomeratici di età terziaria affioranti tra



Tarcento e Ragogna.

Il substrato litoide è costituito nella sua parte settentrionale da rocce carbonatiche mesozoiche, mentre la parte meridionale è rappresentata da rocce in facies di flysch di età eocenica; il contatto delle facies è dovuto alla presenza del Sovrascorrimento periadriatico che ha dislocato il basamento facendone notevolmente variare la profondità. A questa dislocazione, di carattere regionale e ancora attiva, se ne associano altre che danno luogo ad un vero e proprio sistema, condizionando non poco la geometria del basamento. Esso risulta avere una profondità estremamente variabile che giunge ad un massimo di 120 metri in corrispondenza della pianura vera e propria e che dovrebbe superare i 200 metri in corrispondenza del percorso attuale del fiume Tagliamento o meglio del suo paleoalveo. Più a sud, nella zona della confluenza tra il rio Gelato e il fiume Ledra, la profondità del basamento è sensibilmente inferiore, compresa tra 40 e 60 m dal piano campagna.

2.1.2 L' Anfiteatro morenico del Tagliamento

L'Anfiteatro morenico del Tagliamento costituisce una importante unità morfologica che si trova nell'area di sbocco del fiume in pianura. Consiste in tre cerchie principali di modesti rilievi a testimonianza dell'imponente attività di trasporto e deposito degli antichi ghiacciai che si ritirarono circa 12.000-14.000 anni fa. I materiali morenici che costituiscono l'Anfiteatro mostrano una discreta potenza e costituiscono un importante corpo a minore permeabilità che interrompe il regolare deflusso delle acque di subalveo del Tagliamento. Il sottosuolo è caratterizzato da marcate eterogeneità litologiche riscontrabili anche a brevi distanze lineari, a testimonianza di differenti episodi deposizionali. Prevalentemente si tratta di materiali piuttosto fini o per lo meno con accentuata presenza di materiali limoso-sabbiosi e limoso-argillosi, anche in corrispondenza degli episodi deposizionali più grossolani. I depositi eterogenei sciolti poggiano talvolta su depositi conglomeratici potenti e continui anche se segnalati solo localmente.

Le caratteristiche litologiche del basamento prequaternario nell'area dell'Anfiteatro sono note puntualmente solo in alcuni punti e, visto l'articolato sistema di dislocazioni



che interessa anche qui il substrato, non sono possibili estrapolazioni o previsioni circa il suo andamento. In particolare il basamento è caratterizzato da Flysch nell'area a nord della dislocazione di importanza regionale detta "Linea Cividale-Tricesimo", nella zona di Buia, ove affiora, e nel sottosuolo di Artegna e, in parte, di Osoppo.

A meridione e a occidente, in assenza di verifiche puntuali, si deve far riferimento ai dati AGIP derivanti dall'interpretazione della geofisica profonda, secondo la quale al di sotto delle morene e delle alluvioni compaiono potenti depositi clastici riferibili al Miocene (conglomerati, arenarie, siltiti, ecc.) che emergono a costituire i rilievi di Ragogna e Susans. Da sondaggi eseguiti nell'ambito di recenti ricerche dell'O.G.S. di Trieste, nel settore occidentale dell'Anfiteatro il substrato risulta essere conglomeratico fino a notevole profondità, tali conglomerati devono essere sicuramente ascritti al Quaternario in superficie e al Miocene in profondità.

2.1.3 La Pianura friulana nella Provincia di Udine

La Pianura friulana rappresenta, in linea generale, il lembo orientale della Pianura Padana, ma per le sue caratteristiche deve essere considerata semi-indipendente dalle vicissitudini di quest'ultima essendo caratterizzata da maggiore acclività e da sedimenti, in genere, più grossolani. La sua elevazione va da circa 200 m al livello del mare, per un'estensione N-S di circa 80 km. La potente coltre di sedimenti che la costituiscono è quaternaria, con un basamento roccioso prequaternario che nell'area orientale si ritrova a pochi metri di profondità e verso ovest arriva a -250 m nel sottosuolo di Grado (nella provincia di Gorizia) e a più di -600 m nei pressi di Latisana.

La pianura è costituita da un potente pacco di depositi fluvio-glaciali, fluviali e marini che presentano caratteristiche granulometriche diverse andando da monte al mare. Le alluvioni della fascia pedemontana, che costituiscono l'Alta pianura, sono grossolane con prevalenza di ghiaie, ghiaie e sabbie e rari conglomerati. Man mano che si scende verso sud la granulometria, mediamente, diminuisce ed i sedimenti sono via via meno permeabili. Le alluvioni della Bassa pianura sono infatti costituite da frazioni granulometriche più fini (sabbie argillose, limi ed argille) alternate a sedimenti



ghiaioso-sabbiosi spesso limosi (fig. 2.2).

Possiamo individuare quindi due vaste fasce, quella dell'Alta pianura che ospita i grandi conoidi di materiale grossolano estremamente permeabile dove l'acqua penetra il sedimento diventando ipogea ed andando a costituire un'ampia e potente falda freatica e la fascia della Bassa pianura che dalla Linea delle risorgive si estende sino al mare (fig. 2.3).

Lungo la fascia delle risorgive le acque della falda freatica dell'Alta pianura si innalzano progressivamente sia per la diminuzione della permeabilità del mezzo filtrante che per l'affioramento di orizzonti argillosi impermeabili e diventano affioranti dando luogo a numerosi corsi d'acqua (i cosiddetti fiumi di risorgiva). Qui l'estensione nel sottosuolo di numerosi orizzonti argillosi impermeabili più o meno continui, intervallati da altri porosi, permette il costituirsi di falde artesiane che trasportano le acque ben oltre il limite costiero. I dati dei sondaggi geognostici e quelli derivanti dalla terebrazione di pozzi per lo sfruttamento dell'acqua, ci mostrano una Bassa pianura dove s'intercalano strati ghiaiosi ad altri di natura sabbiosa e/o argillosa, che si collegano, non sempre con continuità, tra di loro.

I depositi quaternari mostrano una morfologia complessa, interrotta da modesti rilievi isolati di varia natura e sono dati da diversi conoidi costituiti da elementi con litologie e granulometrie variabili. Le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo sono relativamente disomogenee e differiscono sensibilmente da zona a zona in virtù della diversa genesi dei depositi della pianura friulana. I depositi ed i materiali che costituiscono gli acquiferi sono il prodotto della deposizione di sedimenti avvenuta sicuramente durante tutto il Quaternario e probabilmente anche in un periodo antecedente non esattamente definibile. Si sono susseguite nel tempo infatti fasi climatiche e paleogeografiche diverse che hanno determinato molteplici facies deposizionali con variazioni laterali e verticali. Movimenti eustatici e variazioni di livello marino hanno comportato fasi di ingressione e di regressione marina tali da definire e condizionare nell'area interessata l'apporto dei sedimenti, fossero essi fini o grossolani. Apporti di materiali permeabili sono sicuramente dovuti alla fase cataglaciale della glaciazione wurmiana, con l'intercalazione di deposizioni di sedimenti



marini avvenuta per fasi di trasgressione del mare Adriatico. Tali variazioni eustatiche hanno portato alla deposizione di materiale prettamente marino in zone sottoposte altrimenti ad intenso alluvionamento fluviale. Si ritrovano così materiali misti, sia sabbioso-argillosi che limoso-argillosi e talora organici, in tutta la fascia compresa tra la Linea delle risorgive e l'area perilagunare, mentre più a sud prevalgono depositi fini limoso-argillosi.

Per quanto riguarda i primi 90 metri di sottosuolo, allo stato attuale delle conoscenze, si può fare riferimento in linea generale a quanto proposto nel 1977 e successivamente confermato, definendo isopache percentuali delle ghiaie nel sottosuolo, anche se non sono stati distinti i depositi conglomeratici da quelli ghiaiosi (figg. 2.4 - 2.6).

2.1.3.1 L'Alta pianura

Immediatamente a valle dell'Anfiteatro morenico si sviluppano con continuità gli imponenti depositi alluvionali dell'Alta pianura. Si tratta di sedimenti prevalentemente ghiaiosi, talvolta ghiaioso-sabbiosi, più o meno cementati.

Nella provincia di Udine, essi formano un potente materasso frutto delle successive azioni di deposito dei fiumi Tagliamento, Torre, Natisone e dei corsi minori. In particolare, nella zona di Udine, si rinvengono a breve profondità (a volte inferiore a 5 metri) conglomerati attribuibili al fluvio-glaciale wurmiano che costituiscono un orizzonte abbastanza continuo, potente almeno un centinaio di metri, su cui giacciono depositi sciolti (ghiaie e sabbie).

I conglomerati si rinvengono nel sottosuolo, anche se a profondità variabili in aumento da nord verso sud e da est verso ovest, in una fascia continua ad oriente del Tagliamento che si estende fino al parallelo di Palmanova ed affiorano lungo la scarpata erosiva del fiume Natisone.

L'ampia area planiziale formata dagli apporti dei fiumi Torre e Natisone e dai loro tributari è caratterizzata in superficie da depositi marcatamente grossolani ghiaiosi e talora ghiaioso-sabbiosi.



2.1.3.2 La Linea delle risorgive e la Bassa pianura

Verso valle, nella zona della Linea delle risorgive, le intercalazioni argillose diventano via via più frequenti, più estese e soprattutto aumentano di spessore. In profondità comunque, i depositi ghiaiosi più o meno cementati risultano ancora ben rappresentati, tanto da costituire circa il 50% dei sedimenti.

A valle della fascia della Linea delle risorgive si sviluppano i potenti depositi della Bassa friulana che, procedendo da nord verso sud divengono sempre più fini.

I terreni del sottosuolo, nella zona di Latisana, Palazzolo della Stella, Precenicco, risultano decisamente argilloso-limosi con intercalazioni di deboli orizzonti sabbiosi, e diventano procedendo verso oriente, localmente leggermente più grossolani anche per la presenza di alcuni livelli ghiaiosi. Questi orizzonti ghiaiosi, relativamente grossolani e permeabili, sono dovuti, nella zona a oriente di Cervignano del Friuli, alla dispersione delle antiche alluvioni dell'Isonzo e del Natisone. Depositi fini con netta prevalenza di materiali limoso-argillosi, sono presenti con continuità in tutta l'area perilagunare lungo una fascia compresa tra Piancada, Palazzolo dello Stella e Muzzana del Turgnano.

La vasta area compresa tra la Linea delle risorgive e quella perilagunare è caratterizzata da depositi misti da sabbioso-limosi a limoso-argillosi talora organici, variamente distribuiti ed intercalati, ma con una certa prevalenza della frazione più fina.

L'area di pianura caratterizzata da abbondanti affioramenti di acque sotterranee costituisce una fascia che si sviluppa da est a ovest a quote comprese tra 30 e 40 m. La larghezza di questa fascia è naturalmente variabile in funzione del livello piezometrico della falda e risulta dell'ordine di qualche centinaio di metri. La sua lunghezza, dal Fiume Isonzo al Fiume Tagliamento, è di circa 50 km.

2.2 I corsi d'acqua e l'alimentazione delle falde

Il principale apporto idrico agli acquiferi della pianura è dato, oltre che dalle precipitazioni e dagli apporti profondi dai massicci calcarei, dalle perdite di subalveo dei fiumi Isonzo, Natisone, Torre, Tagliamento, e di altri corsi d'acqua minori, le cui acque, nell'Alta pianura, sono state regimate tramite apporti derivanti dal Tagliamento.



In tutta la pianura, le canalizzazioni e le opere di bonifica hanno modificato l'evoluzione naturale dei corsi d'acqua che, normalmente, avrebbero un tipico regime torrentizio nella fascia a monte della Linea delle risorgive per la mancanza di grandi riserve acquifere (ghiacciai e laghi) e per la limitata estensione dei bacini.

Nella Bassa pianura le acque di falda portate a giorno dal sistema delle risorgive vanno a costituire una rete idrografica piuttosto sviluppata, copiosamente alimentata, quasi sempre regimata, che sfocia nel sistema lagunare. Recenti studi hanno dimostrato che la falda freatica a monte della Linea delle risorgive (per il tratto di pianura compreso tra Isonzo e Tagliamento) è interessata da una portata media annua dell'ordine di $140 \text{ m}^3/\text{s}$ di cui $100 \text{ m}^3/\text{s}$ affiorano nei corsi d'acqua di risorgiva e $40 \text{ m}^3/\text{s}$ vanno ad alimentare le falde artesiane della Bassa pianura.

I corsi d'acqua che interessano la pianura considerata sono numerosi ed hanno carattere prevalentemente torrentizio. Essi alimentano, con quantità variabili, la falda freatica contenuta nell'Alta pianura e nel Campo di Osoppo e Gemona. In linea di massima il maggior apporto viene dai fiumi Tagliamento, che alimenta la falda a Ovest con perdite di subalveo in sinistra, Isonzo, che alimenta la falda a Est con perdite di subalveo in destra, e dai torrenti Torre e Natisone, che alimentano la falda nel settore orientale.

2.2.1 L'Isonzo

Il bacino dell'Isonzo comprende in Italia, oltre al fiume Isonzo stesso, gli affluenti di destra Torre, Malina, Natisone, Judrio e di sinistra Vipacco.

L'Isonzo alla foce ha una portata media di $233 \text{ m}^3/\text{s}$, massima di $2253 \text{ m}^3/\text{s}$, minima di $31 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dal punto di vista delle caratteristiche chimiche, le acque caratterizzanti l'Isonzo hanno un rapporto Ca/Mg che si attesta su valori medi di quattro unità nella zona delle risorgive con una bassa presenza di solfati (attorno agli 8 mg/l).



2.2.2 *Il Torre*

Il torrente Torre, che fa parte dei cosiddetti “corsi d'acqua minori” del Friuli, sgorga dai monti Musi dalla sorgente Tanataviele (500 l/s) e si sviluppa in un bacino con una superficie di circa 1.105 km², scorre tra rocce calcareo-dolomitiche ed arenaceo-marnose fino allo sbocco nella piana di Tarcento. Qui il paleoalveo preglaciale è stato abbandonato perché occluso dalle morene del Tagliamento. Nella zona più orientale riceve come affluente le acque del Cornappo, con un corso che arriva sino Zompitta. Qui le acque diventano ipogee e lasciano un alveo asciutto, che a Remanzacco diviene indistinto rispetto a quello del Natisone. Affluente proprio in questa zona meridionale è il torrente Malina, le cui caratteristiche sono la bassa concentrazione del magnesio (3-4 mg/l) e dei cloruri (1,3 mg/l), assieme ad un rapporto Ca/Mg elevato (13,5 unità). Il suo corso è impostato su rocce marnoso-arenacee in un bacino di circa 160 km², che, al pari del Torre, ospita acque superficiali solo in momenti di piena. Il sottosuolo, infatti, è costituito principalmente da ghiaie e conglomerati, con limitati e discontinui strati argillosi impermeabili; le acque, quindi, si infiltrano rapidamente nel sottosuolo e danno luogo a falde talora piuttosto profonde.

Le caratteristiche chimiche del Torre mostrano un rapporto Ca/Mg pari a circa 3-4 unità, mentre i valori dei solfati rimangono piuttosto bassi, con valori medi attorno a 8 mg/l. Le misure di portata media, minima, massima del Torre alla confluenza con l'Isonzo sono rispettivamente 52.6, 8.6, 667 m³/s.

2.2.3 *Il Malina*

Il torrente Malina, assieme allo Judrio, drena una vasta area dei colli del Friuli orientale costituita da formazioni arenacee e confluisce nel Torre a Pradamano ove perde completamente le sue acque. Ha un bacino di 157 km² e portate medie, minime, massime rispettivamente di 7, 1.3, 76.5 m³/s.

2.2.4 *Lo Judrio*

Anche lo Judrio presenta un ampio bacino (154 km²) ed ha carattere di quasi perennità. Riceve il Corno ed il Versa, attraversa la pianura nella zona di Mariano e



confluisce, quando ha acqua, nell'alveo del Torre presso Viscone. Ha portate medie, minime, massime rispettivamente di 6.8, 2, 75 m³/s.

2.2.5 *Il Natisone*

Il Natisone è un corso d'acqua minore che nasce dalle falde sudorientali del Monte Maggiore, alimentandosi da un bacino di circa 330 km². Scende con regime torrentizio in una valle profondamente incisa dove la litologia è da arenacea a calcarea e dove incontra i suoi affluenti provenienti dalla zona di Taipana. Passa in territorio sloveno per la Sella di Caporetto fino alla gola di Stupizza, dove ritorna in territorio italiano. In queste zone si trovano le tracce di un Paleoisonzo che aveva il Natisone come suo affluente e che non seguiva il tracciato attuale del fiume, ma sfilava nella gola di Stupizza.

Il corso prosegue incassato tra i calcari dei monti Matajur e Mia con le acque che vanno, per la maggior parte, disperdendosi in subalveo. Nella zona di S. Pietro al Natisone, a substrato arenaceo (Flysch), riceve vari affluenti. Continuando per la forra di Cividale, risultato di recenti ringiovanimenti, raggiunge i colli silicoclastici della zona di Buttrio, per poi uscire nella piana alluvionale costituita da ghiaie superficiali, deposte su una coltre conglomeratica che a sua volta poggia su un basamento arenaceo.

Dalla zona di Povoletto sino alla piana di Gorizia, ma anche oltre Gradisca, si sviluppano abbondanti depositi conglomeratici, spesso fessurati, a cementazione sia argillosa che arenacea (e talvolta calcarea), con interdeposizioni ghiaiose, che hanno complessivamente una notevole permeabilità e consentono alle acque superficiali di raggiungere il substrato di Flysch solcato da paleovalli

I dati chimici più caratteristici sono un contenuto mediamente elevato di calcio (51 mg/l) e di HCO₃ (222 mg/l), mentre i valori degli altri parametri rimangono nella media. Le portate media, minima, massima sono, rispettivamente, 14.8, 2.7, 172 m³/s, mentre le perdite sotterranee danno un valore stimato di 16,7 m³/s.

Le dispersioni in falda del Torre e del Natisone sono stimate in 8 m³/s.



2.2.6 Il Tagliamento

Il bacino del Tagliamento comprende, oltre al fiume Tagliamento, i torrenti Lumiei, Degano, But, Fella e Arzino. Complessivamente l'area del bacino del Tagliamento, con un'estensione di poco inferiore a 2.300 km² allo sbocco in pianura in corrispondenza della stretta di Pinzano, dove crea un'ampia piana alluvionale alla foce viene calcolato in poco più 2.870 km². In realtà, soprattutto per i complessi rapporti di alimentazione con gli acquiferi sotterranei, la sua importanza prescinde dall'areale del suo bacino.

Le condizioni paleogeografiche mostrano un antico corso del Tagliamento spostato verso Est, con conseguente maggior permeabilità in tale zona dovuta all'apporto di materiale grossolano nella zona centrale della pianura friulana, anche per la «pressione» esercitata dal conoide del Meduna.

Il Tagliamento entra a Pinzano con una portata media di 92.5 m³/s. In fase di magra tutta l'acqua viene assorbita pochi chilometri a valle e solo in parte rialimenta l'alveo a valle della Linea delle risorgive. La portata media del basso Tagliamento è di 16.7 m³/s: la differenza, pari a 75.8 m³/s, può essere in linea di massima considerata l'apporto medio del fiume alla falda freatica sia in destra che in sinistra (secondo altri autori 90 m³/s, 1/3 per la destra e 2/3 per la sinistra).

Le acque del Tagliamento hanno un chimismo caratterizzato da un elevato tenore di solfati e da una durezza piuttosto alta che a Pinzano ammontano rispettivamente a 138 mg/l e a 28.6 F°. Nel basso Tagliamento la concentrazione dei solfati è più bassa, mediamente di 110 mg/l.

2.2.7 Il Corno e il Cormor

Tra i corsi d'acqua che emergono dalle colline moreniche troviamo il Corno ad ovest ed il Cormor ad est.

Il primo nasce nella piana di Carvacco e defluisce verso SW. A SE di S. Daniele incide una valle alquanto ristretta ed è in parte incanalato andando ad alimentare il canale Ledra verso Codroipo. Il secondo nasce ai piedi del colle di Buia, alquanto più a NE del Corno e drena aree pianeggianti che si trovano inframmezzate nella morena, tendono all'impaludamento e sono oggetto da tempo di bonifiche di varia entità,



ospitando canali di diverse dimensioni.

Il Cormor sbocca in pianura all'altezza di Tavagnacco e, con un corso ancora tortuoso, prosegue verso sud passando ad ovest di Udine: in questa zona serve per lo più da collettore di scarichi urbani ed è assai inquinato. All'altezza di Pozzuolo è completamente scomparso nelle alluvioni. Il suo alveo si mantiene tuttavia distinto e solo durante le piene è percorso da acque fino alla laguna di Grado.

2.2.8 I fiumi di risorgiva

La Linea delle risorgive, sviluppata da Monfalcone a Codroipo e, in modo più articolato, in destra Tagliamento tra Casarsa, Cordenons e Fontanafredda, divide l'Alta dalla Bassa pianura friulana, identificando il limite dove le acque della falda freatica, che a nord permeano i sedimenti prevalentemente ghiaiosi, vengono alla luce in virtù della diminuzione della permeabilità dei sedimenti mentre nel sottosuolo si sviluppa un complesso sistema di falde artesiane (per l'alternarsi di livelli permeabili ad altri impermeabili).

In realtà anche nella Bassa pianura localmente si ritrovano ancora depositi sabbioso-ghiaiosi, che spesso contengono una falda freatica, sollevati rispetto alle zone argillose adiacenti interessate spesso da bonifiche. Dove non si è intervenuto con opere di regimentazione ed arginatura artificiale, i corsi d'acqua hanno un andamento a meandri e convogliano le proprie acque alle zone lagunari.

Il valore medio delle portate di risorgiva in sinistra Tagliamento risulterebbe dell'ordine di 80 m³/s; ciò corrisponde ad un portata specifica media di 1.3 m³/s al chilometro.

In sinistra Tagliamento sono due i collettori principali che raccolgono quasi tutte le acque della piana a sud della Linea delle risorgive: lo Stella e l'Aussa-Corno.

Le misure di portata media indicano che nella Laguna di Grado e Marano si riversano circa 90-100 m³/s d'acqua dolce. Confrontando questi dati con quelli proposti per lo Stella, si ricava per i corsi d'acqua di risorgiva in sinistra Tagliamento un apporto di 40-50 m³/s.



2.2.9 *Lo Stella*

Tre rami principali, Taglio (che parzialmente è artificiale e riceve lo sbocco del Corno di Codroipo), Stella e Torsa, drenano un'ampia zona che si estende da Codroipo a Passariano, Bertolo, Flambro, Talmassons, fino a Castions di Strada.

Lo Stella conserva intatte le caratteristiche proprie dei fiumi di risorgiva. Si sviluppa nella Bassa pianura con andamento meandreggiante sino a gettarsi nella laguna nell'area a SW di Marano con un articolato delta. Va a drenare un notevole ventaglio di risorgive, che derivano dal mescolamento di acqua meteorica con afflussi del Tagliamento (riconoscibili per l'elevato contenuto in solfati), con una zona di alimentazione che si estende da Codroipo fino a Castions di Strada ricevendo apporti dal Corno, dal Taglio e dal Torsa. La sua portata ha valori medi attorno a 40 m³/s, ma varia sensibilmente in funzione degli apporti della falda freatica dell'Alta pianura.

Una buona parte delle acque freatiche, calcolabili in 30 m³/s, derivanti dalle perdite del Tagliamento in riva sinistra e dalle precipitazioni locali, vengono drenate dallo Stella. La dipendenza dal Tagliamento è dimostrata dalla elevata concentrazione in solfati. La portata media dello Stella osservata nel periodo 1926-1949 è di 34 m³/s, valore che può anche raddoppiare nelle piene. Tenuto conto che questi calcoli sono relativi al tratto a monte della confluenza con il Torsa, più a valle la portata media potrebbe aumentare a 45 m³/s.

Ad est dello Stella si rinvencono tre corsi, il Turgnano, il Cormor e lo Zellina, rettificati, inalveati e trasformati in canali artificiali. Il Cormor è il collettore di una vasta area di risorgive e di antiche paludi, scolmando talvolta anche le acque provenienti dall'Alta pianura. Oggi è un largo canale che anche in magra fa defluire alcuni m³/s.

2.2.10 *L'Aussa-Corno e i corsi minori in sinistra Tagliamento*

A lato di San Giorgio di Nogaro scorre il Corno di San Giorgio che sgorga dalle risorgive attorno a Gonars e si alimenta dai canali che drenano le acque delle zone bonificate di Fauglis. A monte dell'abitato il fiume ha ancora il suo peculiare andamento originario, mentre a valle esso, un tempo meandriforme, è stato rettificato ed



arginato per facilitare la navigazione e permettere l'accesso a Porto Nogaro. Allo sbocco in laguna confluisce nell'Aussa, altro corso canalizzato nella parte terminale per dare forma al Porto di Torviscosa.

L'Aussa è alimentato da vari corsi di risorgiva della zona di Palmanova ed Aiello e riceve attualmente anche le acque di tutta una serie di canali alimentati dalla roggia di Palmanova. A valle di Porto Nogaro e Cervignano vengono fatte confluire nel sistema Aussa-Corno anche le acque delle zone di bonifica attorno Malisana.

La zona orientale delle risorgive, quella tra Terzo di Aquileia e Villa Vicentina è drenata dal Terzo e dal Natissa (che attraversa Aquileia). Quest'ultima, canalizzata per l'antico e piccolo Porto di Aquileia, sbocca in laguna circa 5 km ad ovest di Belvedere. Il Terzo alimenta il Canale d'Anfora, uno dei principali canali di bonifica, che sbocca in laguna di fronte a Porto Buso.

La zona retrolagunare più orientale ha un reticolo idrografico meno articolato, dato che la fascia delle risorgive si avvicina sensibilmente alla linea di costa e per la maggior permeabilità dei depositi alluvionale superficiali immediatamente alle spalle dell'area perilagunare.

Una piccola parte di territorio attorno a Fiumicello, Papariano e Isola Morosini è drenata dal Tile e dall'Isonzato, tra loro comunicanti e sfocianti presso la Bocca di Primero e nell'Isola di Sdobba. Un tronco di corso di risorgiva relitto, probabilmente resto dell'antico corso inferiore dell'Isonzato, è oggi costituito dal Canale dell'Averto che conserva il tipico andamento meandriforme e che sbocca in una valle da pesca che si estende a est di Primero.

2.2.11 Le precipitazioni

Le precipitazioni hanno un andamento abbastanza costante su tutto il territorio, con due periodi di massima piovosità, solitamente in autunno, da ottobre a novembre, ed in primavera, da aprile a giugno. In tali periodi l'apporto idrico diviene notevole e si manifesta spesso anche con piene notevoli. Si rimanda comunque al capitolo quattro illustrante la carta dell'infiltrazione efficace per la definizione del quadro pluviometrico



provinciale.

Discorso simile vale per le falde freatiche, che hanno escursioni elevate nella zona settentrionale della pianura, via via minori scendendo verso la zona delle risorgive. Le falde risentono dell'andamento delle precipitazioni ma anche della permeabilità propria dei terreni che favorisce l'infiltrazione efficace, cosicché le fluttuazioni nella pianura friulana mostrano dei picchi di apporto idrico sfalsati rispetto a quelli dei fiumi, con massimi in ottobre-dicembre e in aprile-maggio.

2.3 Gli acquiferi e le falde

Le due idrostrutture studiate sono, come detto, il Campo di Osoppo e Gemona e la parte di pianura friulana in provincia di Udine. Si tratta in entrambi i casi di idrostrutture alluvionali, costituite da depositi prevalentemente ghiaiosi a monte e sabbioso-argillosi a valle. Entrambe contengono una falda freatica che verso valle emerge dal piano campagna ed alimenta una fascia di risorgive. L'idrostruttura maggiore, quella della pianura, oltre alle risorgive alimenta una articolata serie di falde artesiane.

2.3.1 Il Campo di Osoppo e Gemona

La Piana di Osoppo e del conoide di Gemona del Friuli è sede di una abbondante falda freatica che si distingue decisamente da quella della pianura più a sud. La falda è abbastanza superficiale (rinvenibile entro i primi 10 m dal p.c.), è contenuta in terreni ad alta permeabilità e trova alimentazione, oltre che dalle precipitazioni efficaci, dai corsi d'acqua che nella piana si scaricano o che la lambiscono e dalle infiltrazioni profonde dai massicci carbonatici circostanti.

La direzione principale di deflusso è grossomodo N-S, parallela a quella del fiume Tagliamento (figg. 2.7 e 2.8), confluyente verso la Stretta di Pinzano.

Misure di velocità di percolazione della falda freatica superficiale eseguite recentemente a cura del DiSGAM in campo sperimentale ubicato presso Osoppo, hanno dato valori compresi tra 1.5 e 2.3 metri all'ora.



In prossimità del bordo settentrionale interno dell'Anfiteatro morenico, le acque di falda vengono a giorno in numerosi punti definendo una locale linea delle risorgive, con una fascia di ampiezza variabile in seguito al diverso stato di impinguamento della falda freatica. L'emergenza è dovuta sia al passaggio dai depositi grossolani posti a monte ai depositi fini posti a valle e conseguente diminuzione della permeabilità, sia alla risalita del substrato impermeabile, sia alla presenza di una soglia rocciosa sotterranea parallela al bordo interno dell'anfiteatro ed affiorante in corrispondenza di Buia e dintorni.

A valle della Linea delle risorgive, le acque freatiche del Campo di Osoppo e Gemona danno luogo localmente ad una falda in pressione per la presenza di una copertura impermeabile argillosa; dato lo scarso spessore della copertura (2 - 3 metri) la pressione delle acque è modesta, tanto da essere zampillante solo in casi rarissimi. Si rinviene anche a valle della Linea delle risorgive la presenza di una falda freatica prossima al piano campagna.

In quest'area, a Molin del Bosso, attingono i 12 pozzi del Consorzio Acquedotto del Friuli Centrale che, con una portata complessiva di $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$, serve direttamente più di 250.000 persone.

2.3.2 L'Anfiteatro morenico

L'Anfiteatro morenico è contraddistinto da una bassa permeabilità generale; esso è sede di falde superficiali solitamente di modesta entità le cui superfici freatiche hanno andamento irregolare anche se seguono, attenuandola, la morfologia superficiale. Il quadro idrogeologico è complicato dalle variazioni di permeabilità dei depositi morenici: la non uniformità litologica e la presenza di lenti argillose impermeabili danno luogo talora a locali falde sospese.

I deflussi sotterranei superficiali hanno andamento radiale dagli alti ai bassi morfologici. Localmente si hanno venute a giorno delle acque sotterranee in prossimità delle vallecole intramoreniche.

Recenti perforazioni, spinte a profondità superiori a 300 metri dal piano campagna, hanno evidenziato come al di sotto delle morene non poggianti direttamente sul Flysch



si sviluppano spesso potenti depositi conglomeratici. E' stato accertato che in profondità questi conglomerati che per scarsa cementazione o maggior fessurazione sono più porosi contengono diverse falde cui attingono alcuni pozzi.

Anche nell'area più occidentale, dove le morene poggiano sul complesso conglomeratico-arenaceo miocenico che affiora a Ragnogna e a Susans, con ogni probabilità si verifica una circolazione idrica profonda in corrispondenza dei livelli meno cementati prequaternari.

L'areale è caratterizzato da una notevole contaminazione, dato dallo scarso ricambio idrico combinato con la pressione antropica. La situazione emerge dall'analisi delle carte dei nitrati e degli erbicidi, due classi di sostanze per le quali è stata dimostrata una chiara correlazione. I nitrati, l'atrazina ed il suo metabolita, la desetilatrazina, infatti, sono un indice di inquinamento superficiale e di scarsa protezione della falda. La loro presenza è determinata dall'uso massiccio di fertilizzanti azotati, per quanto riguarda i primi, e di erbicidi, per quanto riguarda le seconde due sostanze: la parte che non viene assorbita dalle piante subisce un dilavamento ad opera delle piogge e va a percolare nelle falde. La falda freatica è di conseguenza quella più coinvolta nell'inquinamento, tanto più se l'aerato ha permeabilità elevata e se l'acquifero viene ricaricato prevalentemente dalle precipitazioni e quindi ha basso ricambio idrico.

Nella zona dell'Anfiteatro morenico si sono confermate le ipotesi che indicano in tale area una falda freatica notevolmente influenzata dalla morfologia e dalla litologia dei depositi, con acque che dai punti più elevati migrano verso le zone depresse, dove tendono a ristagnare anche a lungo visto lo scarso ricambio legato alle sole precipitazioni locali. I valori di durezza, in tali aree, risultano elevati soprattutto per l'apporto delle acque di percolazione meteorica e per la natura dei terreni.

2.3.3 La Pianura

Il processo di alimentazione della falda freatica dell'Alta pianura dipende in maniera determinante dalle rilevanti dispersioni che si verificano lungo gli alvei ghiaiosi, soprattutto allo sbocco in pianura delle valli montane, mentre l'alimentazione diretta



delle piogge riveste un ruolo molto più modesto.

L'esame delle osservazioni piezometriche relative a 52 pozzi significativi dell'Alta pianura friulana della Rete regionale di monitoraggio del Friuli-Venezia Giulia, disponibili per il trentennio 1967-97, e l'analisi della loro variazione temporale mediante la creazione di una retta di regressione, ha permesso di valutare l'andamento della freaticità nell'area (fig. 2.9).

Risulta un generale abbassamento del livello di falda, più cospicuo nella zona settentrionale della pianura, laddove anche la variazione tra escursioni massime e minime è più elevata. Nella parte meridionale la tendenza all'abbassamento è meno marcata.

Le cause di tale abbassamento possono essere ricercate nella minor piovosità registrata nell'ultimo trentennio, nel maggior sfruttamento della falda freatica per scopi domestici, agricoli ed industriali, nell'eccessivo sfruttamento delle falde artesiane a valle delle risorgive e nell'intenso utilizzo per scopi irrigui ed idroelettrici delle acque montane.

I valori di abbassamento rilevati nel periodo dal 1977 al 1997 raggiungono anche gli 8 metri, con abbassamenti medi annui compresi tra 20 e 30 cm.

Anche in sinistra Tagliamento, l'Alta pianura è in genere costituita da potenti depositi ghiaioso-sabbiosi molto permeabili, sede di una falda freatica che già a sud dell'Anfiteatro morenico presenta profondità di 60-80 metri.

L'alimentazione di questa potente falda è dovuta alle precipitazioni atmosferiche, alle dispersioni dei numerosi corsi d'acqua che attraversano la pianura, i deflussi sotterranei dell'Anfiteatro morenico, ma anche, e non subordinatamente, ai deflussi provenienti dalle falde profonde individuate nei conglomerati al di sotto delle morene. Questi acquiferi confinati profondi, nettamente differenziati rispetto l'acquifero freatico, sono interessati da alcuni attingimenti ed in particolare da un pozzo per scopi acquedottistici effettuato a Palmanova a seguito dei recenti episodi di inquinamento della falda superficiale e di alcune di quelle profonde.

Man mano che si scende verso meridione, la superficie freatica si avvicina al piano campagna fino a venire a giorno, dando origine alla fascia delle risorgive.



La parte più orientale dell'Alta pianura, che si estende dal torrente Torre fino ai primi rilievi collinari e montuosi delle Prealpi Giulie, è geneticamente legata al corso inferiore del fiume Natisone il quale ha condizionato non poco la morfologia dell'area. Particolarmente intensi e frequenti sono infatti i fenomeni erosivi nella sequenza alluvionale che spesso è caratterizzata da potenti livelli conglomeratici. Tutta quest'area pianiziale, a sud della stretta di Cividale del Friuli sino alla confluenza Torre-Natisone, è sede di una ricca falda freatica alimentata principalmente dalle infiltrazioni dei corsi d'acqua superficiali e dalle precipitazioni.

L'abbondanza di acqua sotterranea è anche dovuta alla presenza del basamento torbiditico impermeabile ad una profondità tale da "sostenere" la falda. Ciò non avviene nella zona più meridionale ove il basamento roccioso, oltre ad approfondirsi rapidamente, diviene talora parzialmente permeabile.

Un'altra zona in cui è prevalente l'influenza delle acque disperse dal Tagliamento, che rimpinguano direttamente sia la falda freatica sia le falde in pressione (con concentrazioni elevate di solfati) si dispone in sinistra del corso d'acqua, con un asse circa NNE-SSW, fino a Palmanova, come risulta dalle carte di isoconcentrazione. Queste acque sono contenute in depositi a granulometria variabile dal decisamente ghiaioso al limoso-argilloso: negli ultimi, specie nella zona dello Stella, si possono riconoscere reazioni di ossidoriduzione che vanno ad alterare il chimismo delle acque delle falde profonde.

L'Alta pianura centro-orientale, povera di apporti acquiferi superficiali, vede rimpinguata la falda freatica principalmente dalle acque meteoriche che, percolando nel terreno, si caricano, tra l'altro, dei prodotti utilizzati in agricoltura. Proprio i nitrati e i composti triazinici sono in questo caso i migliori traccianti per definire l'andamento degli acquiferi nel caso di una minima partecipazione di corsi d'acqua superficiali. Si delinea così una vasta zona in cui le acque sotterranee sono a maggior rischio d'inquinamento, corrispondente all'area centro-orientale della Pianura friulana e ad una "lingua" allungata verso sud che, alimentandosi nell'Alta pianura, dalla zona di Gonars-Palmanova si espande fino a nord di Aquileia.

Più ad oriente, infine, si trova l'area caratterizzata dal deflusso sotterraneo delle



acque provenienti dal sistema Torre-Isonzo e riconoscibili per il generale basso contenuto di solfati e nitrati e per l'elevato rapporto Ca/Mg. La distribuzione areale del rapporto Ca/Mg (fig. 2.10) mostra valori elevati in corrispondenza della zona orientale che risulta altresì caratterizzata da acque con una maggior concentrazione calcica (in proporzione al magnesio) provenienti dai bacini montani del Malina, del Natisone, dello Judrio, del Versa, corsi d'acqua che si sviluppano principalmente su materiali marnoso-arenacei.

Gli spandimenti dei corsi d'acqua dell'Alta pianura, assieme agli apporti meteorici ed ai deflussi sotterranei, alimentano la potente falda freatica. Questa, nella zona delle risorgive, affiora parzialmente per la presenza di depositi alluvionali via via più fini costituiti da lenti argilloso-limose di notevole estensione e spessore. In profondità comunque permangono, anche a sud della Linea delle risorgive, strati e lenti di materiali permeabili che costituiscono le falde acquifere della Bassa pianura caratterizzate da elevata artesianità. Anche le acque dei tratti finali dei principali fiumi regionali possono essere considerate in buona parte acque di risorgiva.

Man mano che ci si sposta verso meridione, partendo dalla Linea delle risorgive, l'acquifero freatico si suddivide in un complesso multifalda caratterizzato da livelli ghiaioso-sabbiosi variamente intercalati a depositi argillosi sempre più frequenti e più potenti.

A cavallo della fascia delle risorgive si hanno quindi una modesta falda freatica superficiale e alcune falde in pressione, collegate verso monte con l'acquifero freatico. A valle della Linea delle risorgive, la falda freatica non è più presente con continuità, non essendoci depositi sufficientemente permeabili negli strati superficiali. Tutta questa zona è così caratterizzata dalla presenza di sistemi multifalda artesiani che subiscono una generale diminuzione di potenza e di permeabilità procedendo da nord verso sud e da est verso ovest.



2.3.4 I deflussi e le correntometrie

La caratterizzazione idrogeologica ed idrodinamica degli acquiferi contenenti la falda freatica della pianura friulana, recentemente elaborata dal DiSGAM ad esecuzione di quanto previsto in una convenzione di ricerca con la Direzione Regionale dell'Ambiente della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, ha portato a ricostruire preliminarmente il quadro regionale dell'assetto geologico ed idrogeologico degli acquiferi contenenti le acque freatiche e a meglio definire le caratteristiche idrodinamiche delle falde freatiche in Regione.

La campagna di studio ha messo in evidenza come durante le diverse fasi di impinguamento le idrostrutture secondarie di cui si compone quella principale, abbiano comportamenti non sincroni. Ne conseguono direzioni di deflusso localmente divergenti per minime variazioni della curvatura delle isofreatiche. Si rilevano infatti continue variazioni nelle direzioni di deflusso frutto quasi sempre di eterogeneità nella permeabilità laterale (e talvolta anche verticale) dei sedimenti che costituiscono l'acquifero.

Tale situazione era ipotizzabile dato che l'Alta pianura è il risultato della deposizione di conoidi, spesso sovra-alimentati ed intrecciati, intercalati a depositi fluvioglaciali. Le misure effettuate provano quest'ipotesi, anzi marcano le eterogeneità. Fra l'altro non va sottovalutata l'influenza nei deflussi delle compagini conglomeratiche, invero molto frequenti ed estese tanto arealmente quanto in profondità: la permeabilità per fessurazione spiega direzioni della falda decisamente fuori dal quadro generale.

Ne consegue che a parità di carico idraulico, pur in un quadro di generale deflusso dai punti di alimentazione (gli apici dei conoidi dei corsi d'acqua) verso la Linea delle risorgive, le eterogeneità litostratigrafiche si trasformano in vie di maggior o minor permeabilità (orizzontale ma anche verticale), imponendo alle acque percorsi spesso ben diversi da quelli semplicemente congruenti con i gradienti idraulici.

Questo quadro complica, in linea di principio, la definizione delle caratteristiche di conducibilità dell'acquifero.

Nel Campo di Osoppo e Gemona sono in evidenza deflussi prevalenti verso ovest e si riscontra che a leggeri innalzamenti della falda corrispondono aumenti delle intensità



di scorrimento delle acque sotterranee.

Nell'Alta pianura in sinistra Tagliamento gli apporti del Tagliamento alle acque di falda si evidenziano con direzioni di deflusso a componenti prevalenti verso SE. Le variazioni di livello si ripercuotono modificando localmente più la direzione della falda che non la sua velocità, data la diversa funzione nel tempo del fiume Tagliamento, che funge da dreno in magra e da alimentatore in piena.

Nell'Alta pianura centro-orientale l'acquifero è caratterizzato da livelli, lenti ed orizzonti conglomeratici, il che comporta locali permeabilità per fessurazione e non per porosità e quindi linee di deflusso legate prevalentemente all'orientazione delle superfici di discontinuità beanti e solo parzialmente legate al gradiente idraulico. I deflussi inoltre possono essere condizionati dalla morfologia del substrato laddove si avvicina al piano campagna. A queste cause naturali va aggiunta in quest'area la presenza di zone a forte emungimento idrico con anche notevole influenza sulla forma della superficie piezometrica e quindi sui gradienti locali e sulla loro direzione.

Il Torre nel suo ingresso in pianura imposta direzioni dominanti verso SSW viste le caratteristiche idrogeologiche e morfologiche dell'area, caratterizzata in superficie dalla presenza di rilievi sia ad est che ad ovest ed in profondità dalla presenza di una forte e lineare incisione del substrato. L'innalzamento del livello della falda è accompagnato da un aumento della velocità misurata.

Nell'area di pianura dei fiumi Natisone e Isonzo l'andamento delle direzioni di deflusso misurate porta ad attribuire notevole importanza proprio alla prevalente funzione drenante dei corsi d'acqua. Va segnalato come all'abbassamento della falda freatica corrisponda spesso un aumento dell'intensità e un parziale spostamento dei deflussi verso nord.

In corrispondenza della Fascia delle risorgive si sono riscontrati valori variabilissimi sia di direzione che di intensità, quasi sempre difficilmente riconducibili alle direzioni di deflusso supponibili sulla base dell'andamento regionale delle isofreatiche. Si conferma quindi che le condizioni idrogeologiche della fascia, riconducibili a materiali ghiaioso sabbiosi dalla geometria complessa che passano molto bruscamente ad altri meno permeabili, se non impermeabili, e al richiamo dei punti di risorgiva, portano a



percorsi locali ben diversi da quelli delle linee di deflusso principale, che sono prevalentemente orientate perpendicolarmente alla Linea delle risorgive.

Modifiche al regime idraulico si devono oltre che alle variazioni di permeabilità, di gradiente e di inclinazione della superficie piezometrica per fattori naturali anche all'intenso, occasionale, prelievo di acqua per uso industriale ed agricolo.

Non si hanno molti dati sui valori di permeabilità degli acquiferi: risulta da prove di laboratorio che quelli francamente sabbiosi hanno un coefficiente k di 10^{-5} - 10^{-6} m/s, di 2-3 ordini di grandezza inferiori a quelli dei livelli prettamente ghiaiosi. Misure di permeabilità effettuate su alcuni campioni argilloso-limosi prelevati in profondità hanno evidenziato valori di 10^{-10} - 10^{-11} m/s che definiscono la loro sostanziale impermeabilità.

Nella distribuzione dei sedimenti e nell'andamento degli orizzonti acquiferi si nota una direttrice preferenziale NW-SE parallela all'andamento della Linea delle risorgive. Infatti procedendo da NE verso SW si riscontra in profondità una graduale variazione litologica da materiali grossolani a materiali più fini che sostanzialmente concorda con la distribuzione dei sedimenti in superficie.

Il sistema complesso di falde artesiane da tempo viene abbondantemente sfruttato ad uso idrico. Gli attingimenti idrici dal sistema multifalda artesiano della Bassa pianura, anche a causa dell'inadeguata rete acquedottistica, sono infatti numerosissimi e sfruttano livelli spesso discontinui giungendo fino a profondità superiori a 550 m. Da recenti analisi, nella sola Regione Friuli Venezia Giulia, risulterebbero non allacciati, e dunque serviti in massima parte da pozzi "domestici" artesiani, oltre 150.000 abitanti (il 13% della popolazione regionale). Non è azzardato ipotizzare la presenza di almeno 50.000 pozzi utilizzati a vario scopo con netta prevalenza di quello idropotabile. Questa situazione comporta anche notevoli rischi igienico-sanitari, sia per la difficoltà di eseguire controlli, sia perché, in caso di inquinamento, l'emergenza assume vaste proporzioni.

Il depauperamento desumibile dall'andamento delle piezometrie nei pozzi dell'Alta pianura, trova pieno riscontro e si manifesta soprattutto negli attingimenti dalle falde artesiane più superficiali (individuate come Falde A e B). Ciò determina, nel sistema artesiano, una riduzione delle portate che secondo i titolari dei pozzi si è sviluppata in



particolare nell'ultimo ventennio. Risulta che dal 1970 ad oggi in diverse aree i pozzi, soprattutto quelli della Falda A, hanno spesso progressivamente perduto le caratteristiche di artesianità. In tal caso la risalienza non raggiunge più il piano campagna e risulta indispensabile l'utilizzo di pompe per il sollevamento dell'acqua.

Dai dati di un rilevamento a campione che ha interessato la Bassa pianura friulana, risulta che, se zampillanti, i pozzi che pescano dalle falde artesiane entro i 100-120 metri di profondità, raramente sono caratterizzati da portate a bocca libera superiori a 1 l/s e più spesso presentano portate attorno a 0.3-0.6 l/s per diametri compresi tra 1.5" e 3".

A profondità maggiori, le portate sono decisamente superiori per gli stessi diametri e quasi sempre si hanno portate a bocca libera di 3-6 l/s che con i dispositivi di regolazione portano a ottenere portate di esercizio comprese in genere tra 1 e 2 l/s.

Alcuni dati sulla risalienza dalle falde profonde più di 400 metri indicano valori a bocca pozzo di circa 1-3 kg/cm² corrispondenti ad una risalita di 10-30 metri.

Nell'area che va dalla Linea delle risorgive al mare l'andamento delle linee d'isoconcentrazione dei nitrati, dell'atrazina e della desetilatrazina rispecchia fedelmente le modalità di alimentazione dell'acquifero superficiale di monte. Per quanto riguarda le falde artesiane, dette isolinee presentano un andamento simile a quelle dei valori di durezza, con concentrazioni elevate nell'area tra il Cormor e Palmanova, per la probabile diminuzione del deflusso sotterraneo del Tagliamento e per l'apporto di acque provenienti dall'Alta pianura centro-orientale, alimentate soprattutto dalle precipitazioni locali. L'elevata concentrazione di nitrati nelle falde profonde indica che la falda freatica alimentatrice è stata contaminata in tutta la sua profondità.

2.3.5 Lo schema idrogeologico delle falde artesiane

Per la comprensione dello schema idrogeologico della Bassa pianura friulana, ferma restando l'importanza della falda freatica presente a monte delle risorgive, conviene analizzare preliminarmente lo schema di circolazione idrica riconosciuto nel sottosuolo della zona di Lignano Sabbiadoro e di Latisana dove le informazioni sono più numerose



e consentono una visione abbastanza completa.

Dall'analisi dello schema idrogeologico nel sottosuolo di tale zona sono individuabili i caratteri generali di sette falde artesiane "superficiali" (per praticità descrittiva denominate A-B-C-D-E-F-G) comprese tra 30 e 300 metri di profondità e, per quanto noto al momento, tre falde "profonde" (denominate H-I-L) comprese tra 400 e 600 metri di profondità.

Tale situazione naturalmente non è sempre riscontrabile nel sottosuolo della Bassa pianura in quanto, come illustrato nei capitoli precedenti, le caratteristiche litostratigrafiche mutano sia arealmente che verticalmente, tanto verso nord quanto verso est ed ovest. Le correlazioni tra le varie falde artesiane non risultano significative a monte della fascia delle risorgive ove si riscontrano in profondità successioni sensibilmente diverse da quelle presenti più a valle.

Le dieci unità idrologiche principali riconosciute e contraddistinte con lettere maiuscole, non sono falde uniformi e continue ma sono contenute in acquiferi che variano in spessore e profondità oltre che in litologia e risultano spesso suddivisibili in diversi, e a volte modesti, orizzonti.

2.3.5.1 La Falda A

Analizzando dettagliatamente le falde, si riconosce una prima falda dall'andamento articolato, la Falda "A", posizionata generalmente fra 30 e 80 metri dal piano campagna e sempre presente. Si tratta di una falda contenuta in livelli abbastanza permeabili, da sabbiosi a ghiaioso-sabbiosi. La potenza degli orizzonti talvolta presenta valori anche superiori alla decina di metri, ma più spesso tale falda superficiale risulta variamente suddivisa in deboli orizzonti permeabili intercalati da livelli argilloso-limosi impermeabili mediamente potenti.

E' questa la falda artesianica della quale si è definita la vulnerabilità intrinseca all'inquinamento secondo la metodologia SINTACS. Essa è infatti la prima delle falde artesiane ed è ovvio che, per quanto riguarda le contaminazioni dall'alto, è la più vulnerabile. In verità, come più avanti sottolineato, le acque di falda artesianica sono poco o nulla vulnerabili alle contaminazioni dalla verticale, mentre è più o meno elevata, ma



sempre in essere, la vulnerabilità nelle aree di alimentazione.

2.3.5.2 La Falda B

Una seconda falda, la Falda “B”, è posizionata generalmente fra 80 e 110 metri di profondità dal piano campagna, è abbastanza continua ed è contenuta in depositi sabbiosi. La potenza dell'acquifero è mediamente di 8 metri e solo localmente supera i 10 metri.

2.3.5.3 La Falda C

La terza falda, la Falda “C”, pur sviluppandosi in modo discontinuo è posizionata mediamente fra 120 e 140 metri di profondità. Generalmente risulta ben sviluppata nell'area perilagunare e nella retrostante Bassa pianura. L'acquifero risulta essere poco potente (5-7 metri) e contenuto in materiali prevalentemente sabbiosi.

2.3.5.4 Le Falde D ed E

Da 160 a 200 metri di profondità talora sono distinguibili due differenti falde (Falda “D” fra 160 m e 170 m e Falda “E” tra 190 m e 200 m) mentre altre volte gli acquiferi sono articolati in modo da sembrare un'unica falda digitata sia in senso verticale che orizzontale.

In particolare la Falda “D” è generalmente abbastanza continua, con potenze comprese tra 4 e 12 metri, è contenuta in materiali prevalentemente ghiaiosi e subordinatamente ghiaioso-sabbiosi.

La Falda “E”, quando distinguibile dalla precedente, è contenuta in materiali essenzialmente sabbiosi, distribuiti in tutta l'area con omogeneità e potenza in genere superiore a una decina di metri.

2.3.5.5 Le Falde F e G

Una sesta falda, la Falda “F”, è posizionata fra 240 e 260 metri di profondità, è contenuta in depositi a granulometria variabile, da prevalentemente ghiaiosi a prevalentemente sabbiosi. È una falda con buona continuità areale, ben definita e



potente.

Pochi metri al disotto si rinviene la settima falda, la Falda “G”, posizionata nel sottosuolo di Lignano Sabbiadoro fra 280 e 300 metri di profondità. Questa falda, che nella zona della Laguna di Grado è ubicata a quote lievemente superiori (260 metri di profondità) e immediatamente al di sopra del basamento roccioso, si presenta localmente discontinua e si sviluppa in depositi prevalentemente sabbiosi con potenza variabile da alcuni metri fino a una decina di metri.

Un certo termalismo caratterizza le acque di queste due falde nel sottosuolo dell'area lagunare in comune di Grado, con valori di temperatura mediamente poco elevati (30°C-34°C).

2.3.5.6 Le Falde H, I e L

Al di sotto di questi sistemi artesiani multifalda, si riscontra uno strato di argille potente mediamente 80 metri al di sotto del quale le perforazioni spinte fino a 600 metri di profondità hanno evidenziato la presenza di almeno tre falde profonde, le Falde “H”, “I” e “L”. Come già detto, queste tre falde risultano contenute in terreni prequaternari e sono caratterizzate da un deciso termalismo (40°C-50°C).

In particolare, l'ottava falda, la Falda “H”, è posizionata ad una profondità variabile tra 380 e 420 metri dal piano campagna (ed in pratica dal livello del mare) in depositi sabbiosi fini. Essa ha un andamento abbastanza complesso in quanto talora si presenta digitata in numerosi deboli orizzonti.

La nona falda, la Falda “I”, è stata per il momento rinvenuta in pochi pozzi e risulta potente una trentina metri, si trova a circa 460 metri di profondità ed è contenuta in terreni prettamente sabbiosi talora debolmente cementati. Interessa sicuramente anche la zona perilagunare e il sottosuolo di Palazzolo dello Stella.

La decima falda, la Falda “L”, è ubicata fra 530 e 570 metri di profondità dal piano campagna e si trova in terreni quasi esclusivamente sabbioso-arenacei.

2.3.6 La Fascia lagunare e perilagunare

L'area lagunare e la fascia perilagunare (terreni di bonifica a scolo meccanico con



quote talora inferiori al livello medio mare) rappresentano l'estremità orientale del grande sistema deltizio lagunare che si sviluppa con continuità da Ravenna alla foce del fiume Isonzo.

Il sistema lagunare si sarebbe formato in epoche posteriori a 4000-5000 anni fa, in seguito alla trasgressione postwurmiana. Nel caso specifico è probabile che la Laguna di Grado, Marano e Caorle si sia formata per la concomitanza di due fattori principali, la trasgressione marina e, durante i periodi di stasi, il progressivo avanzamento verso mare degli apparati deltizi dei fiumi Tagliamento e Isonzo in particolar modo.

Nella laguna avviene il deflusso delle acque dei fiumi di risorgiva e di parte delle acque di falda, determinando valori di salinità medi del 30 per mille con punte del 4-8 per mille allo sbocco dei corsi d'acqua

Se si escludono alcune zone della laguna caratterizzate da sedimenti sabbiosi, i terreni lagunari e perilagunari sono in genere costituiti da depositi limoso-argillosi, talora debolmente sabbiosi. In tali aree frequenti sono gli episodi torbosi, anche se spesso di modesto spessore.



3 La Vulnerabilità degli Acquiferi – Metodo SINTACS R5

La definizione del grado di vulnerabilità intrinseca è stata ottenuta seguendo il protocollo metodologico S.I.N.T.A.C.S. (Civita & De Maio, 1997) proposto nell'ambito degli studi sulla vulnerabilità degli acquiferi svolti in ambito Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche (C.N.R.).

SINTACS (Civita, 1994) è un sistema parametrico a punteggi e pesi che prende in considerazione sette parametri per valutare la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero: la Soggiacenza della falda, le caratteristiche dell'Infiltrazione in funzione del substrato e della copertura, quelle dell'azione autodepurante del Non saturo, la Tipologia della copertura, i caratteri idrogeologici dell'Acquifero, la Conducibilità idraulica dell'acquifero e del non saturo, l'acclività e le caratteristiche morfologiche della Superficie topografica.

A ciascun parametro viene attribuito un intervallo di punteggio da 1 a 10 secondo le caratteristiche litologiche, morfologiche, idrauliche, naturali, biologiche dell'area e dei complessi rocciosi coinvolti. La vulnerabilità intrinseca finale, l'indice SINTACS, è la somma dei punteggi dei sette parametri e si ottiene dalla sovrapposizione delle sette carte in cui ad ogni elemento areale viene assegnato il punteggio ottenuto moltiplicato per il peso assegnato ad ogni parametro d'ingresso:

$$I_{\text{Sintacs}} = S_r S_o w + I_r I_w + N_r N_w + T_r T_w + A_r A_w + C_r C_w + S_r S_w$$

dove S_o sta per soggiacenza, I per infiltrazione efficace, N per non saturo, T per tipologia della copertura, A per acquifero, C per conducibilità idraulica, S per superficie topografica, l'indice r per punteggio e w per peso associato ad ogni parametro.

La pianura è stata suddivisa in elementi areali quadrati, secondo una maglia regolare e ad ogni elemento areale sono stati attribuiti i punteggi previsti elaborandoli con l'utilizzo del software fornito dagli Autori.

3.1 I concetti teorici sulla vulnerabilità degli acquiferi

La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi è un concetto che rientra in tutta una serie di procedure e analisi del territorio sotto vari aspetti che hanno come scopo



finale quello di salvaguardare le *riserve* e le *risorse* idriche sotterranee. La *riserva* è la quantità o il volume di acqua gravifica contenuta, ad una certa data o immagazzinata nel corso di un periodo medio annuale, in un sistema idrogeologico. La *risorsa* è la quantità o il volume d'acqua che può essere estratto da un dominio circoscritto durante un periodo dato, tenuto conto dei criteri o dei vincoli tecnici, socio-economici e politici.

Per *inquinamento (o contaminazione) idrico* s'intende l'impatto di qualunque attività antropica, volontaria o accidentale, che comporti uno sversamento, in uno o più dei sottosistemi componenti il sistema ambiente, di sostanze tali da causare una variazione negativa di tipo chimico e/o fisico della qualità naturale delle acque tale da mettere in pericolo la salute dell'uomo e degli altri esseri viventi.

In questo contesto s'inserisce il concetto di *vulnerabilità intrinseca* che rappresenta la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche e idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo.

Oltre a questa, negli ultimi anni sono state coniate diverse definizioni della vulnerabilità intrinseca a seconda dei punti di vista dei vari autori, secondo alcuni essa esprime il grado di esposizione al pericolo di inquinamento delle acque sotterranee determinato da condizioni naturali e indipendente dalla effettiva presenza di fonti di inquinamento. Secondo altri è piuttosto da tenere in considerazione le caratteristiche intrinseche che determinano la suscettibilità delle varie parti di un acquifero ad essere sfavorevolmente colpite da un carico inquinante imposto.

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero, secondo tutte le definizioni date da vari Autori, dipende da una serie di parametri idrogeologici tra i quali la litologia e la struttura del sistema idrogeologico nel suo complesso, la natura del suolo e la sua morfologia, i processi di ricarica – flusso - deflusso dell'acqua sotterranea ed i processi di interazione chimica acqua-roccia.

Considerando queste le principali caratteristiche che determinano la vulnerabilità intrinseca, sono state sviluppate diverse metodologie di valutazione della stessa.

Negli ultimi 20 anni sono state messe a punto e sperimentate varie tecniche di



valutazione della vulnerabilità che si possono suddividere in tre gruppi fondamentali:

- ✓ Zonazione per aree omogenee;
- ✓ Valutazione per modelli numerici;
- ✓ Valutazione per sistemi parametrici.

I primi valutano la vulnerabilità per complessi e situazioni idrogeologiche e vengono attuati, in genere, grazie a tecniche di sovrapposizione cartografica. Il loro utilizzo si presta per cartografie a scala medio-grande e possono essere adatti a coprire interi territori nazionali, quindi aree molto vaste e articolate per quanto concerne l'idrologia, l'idrostruttura e la morfologia. Il risultato finale è una valutazione di tipo essenzialmente qualitativo, che può essere espressa per intervalli opportunamente descritti o per situazioni-tipo.

I metodi per modelli numerici permettono la valutazione di un indice di vulnerabilità intrinseca tramite espressioni analogico-matematiche semplici o complesse.

I sistemi parametrici si suddividono a loro volta in sistemi a matrice, sistemi a punteggio semplice, sistemi a punteggi e pesi, sistemi di valutazione di impatto ambientale. Tutti si basano su una serie di parametri sui quali si intende basare la valutazione della vulnerabilità, suddivisi per intervalli di valori e/o tipologie dichiarate. Si opera quindi attribuendo un punteggio crescente arbitrario a ciascuno di essi in funzione dell'importanza che questo riveste nella valutazione complessiva.

3.2 Il metodo SINTACS R5

SINTACS R5 (Civita M. & De Maio M., 2000) è il metodo che secondo quanto previsto dalla convenzione è stato utilizzato per la valutazione della vulnerabilità intrinseca delle aree di pianura della provincia di Udine. E' un sistema parametrico a punteggi e pesi (Point Court System Model = PCSM) che deriva dal metodo DRASTIC messo a punto da Aller et al. negli anni 1985-1987 per l'USEPA (*United States Environment Protection Agency*).

I sistemi a punteggi e pesi sono un'evoluzione dei sistemi a punteggio semplice che rispetto a quest'ultimi introducono una o più linee di pesi, cioè un moltiplicatore a



gamma fissa per ciascun parametro di base considerato, che amplifica il punteggio attribuito al parametro stesso in maniera preordinata. Ciò allo scopo di evidenziare le zone con particolari situazioni idrogeologiche e/o d'impatto antropico.

Con DRASTIC la valutazione della vulnerabilità intrinseca è basata su tutti i principali parametri che la determinano e non solo su parametri idrogeologici. Tuttavia, esso, dopo essere stato sperimentato anche in Italia, si è dimostrato di scarsa adattabilità a situazioni complesse ed a scale di restituzione cartografica operative, così che dal 1990 sono iniziate ricerche e sperimentazioni inizialmente allo scopo di perfezionare un nuovo metodo adattando DRASTIC e quindi calibrandolo e rendendolo facilmente applicabile al territorio italiano e al Bacino del Mediterraneo in genere. Tale metodo fu denominato appunto SINTACS.

Il nome SINTACS, come DRASTIC, è l'acronimo delle iniziali dei 7 parametri dipendenti dalle caratteristiche idrogeologiche di un sito che si prendono in considerazione e che sono:

Soggiacenza
Infiltrazione efficace
Effetto di autodepurazione del **N**on-saturo
Tipologia della copertura
Caratteristiche idrogeologiche dell'**A**cquifero
Conducibilità idraulica dell'acquifero
Acclività della **S**uperficie topografica

Tali parametri devono essere definiti dall'operatore in maniera qualitativa e quantitativa e bisogna poi attribuire a ciascuno un punteggio compreso tra 1 e 10 utilizzando i grafici previsti che sono appositamente calibrati.

Ogni parametro viene poi moltiplicato per il rispettivo peso, cioè per un coefficiente variabile tra 1 e 5, allo scopo di enfatizzare in maniera differenziata ciascuno dei 7 parametri, a seconda dell'importanza che questo riveste nell'ambito di una determinata situazione idrogeologica e a seconda delle condizioni d'impatto antropico e di utilizzo del territorio. SINTACS propone 5 stringhe di pesi.

Una volta quantificati i 7 parametri in una scala di valori da 1 a 10 in base a criteri predefiniti, grazie all'aiuto dei grafici proposti e una volta definita una o più stringhe di



pesi appropriate, si può ricavare un indice di vulnerabilità (I_{SINTACS}) che si ottiene dalla sommatoria di ciascun parametro moltiplicato per il rispettivo peso (Tab. 1):

$$I_{\text{SINTACS}} = S W_s + I W_I + N W_N + T W_T + A W_A + C W_C + S W_s$$

Il valore così ottenuto sarà compreso tra 26 e 260. Questo è definito “punteggio grezzo” e va normalizzato seguendo le indicazioni date dalle Tabelle 2 e 3 che permettono di definire le sei classi di vulnerabilità ed eventuali ulteriori suddivisioni.

3.2.1 La discretizzazione dell'area

SINTACS prevede che la vulnerabilità venga definita per elementi areali di dimensioni compatibili con la accuratezza e la distribuzione dei dati. Nel nostro caso, le scale operative delle carte tematiche di base utilizzate erano variabili dal 1:50.000 al 1:5.000 e molto variabili erano anche, come attendibilità, precisione e distribuzione, i dati. Si è quindi deciso di rappresentare la vulnerabilità intrinseca secondo areali di 250 x 250 metri, anche se le carte dei parametri hanno una definizione più alta.

La scelta delle dimensioni della cella elementare deve essere fatta tenendo conto delle esigenze dell'utente e della risoluzione che si vuole ottenere nell'elaborato finale e quindi della scala con la quale lo si vuole rappresentare. Tuttavia, non si può prescindere dal numero e dalla densità dei punti di rilevamento disponibili e dai dati che da essi si possono ricavare, sia per la conoscenza delle caratteristiche della superficie che per il sottosuolo.

Seguendo il protocollo SINTACS l'area è stata discretizzata in celle utilizzate successivamente per l'assegnazione dei punteggi delle tematiche.

Per questo lavoro si è deciso di impiegare una cella elementare di lato 250 m, che rappresenta un compromesso tra la disponibilità di notizie per quantificare i 7 parametri e la necessità di fornire uno strumento utile che possa venir utilizzato anche a scala comunale in sede di prevenzione e di pianificazione.

La griglia scelta ha come coordinate limite:



X min = 2357000

Y min = 5056000

X max = 2413000

Y max = 5130000

Ne consegue che la griglia utilizzata ha 296 righe e 224 colonne per un totale di 66.304 celle e che l'area analizzata è di 27.994 celle ognuna di 62.500 m² per complessivi 1.749,625 km².

Il software utilizzato per l'elaborazione delle carte parametriche e della vulnerabilità è stato ArcGIS in versione ArcINFO 8.2. Questo software ha la capacità di elaborare sia dati che vettoriali che dati aster, fattore questo risultato essenziale nella fase di importazione delle carte di base elaborate con Autocad map 2002.

3.2.2 La Carta della Soggiacenza

La soggiacenza è la profondità della superficie piezometrica misurata rispetto al piano campagna (Fig 3.1). La sua importanza nella valutazione della vulnerabilità è notevole infatti, a parità di condizioni idrogeologiche dell'insaturo, da essa dipende il tempo di transito di un inquinante idroveicolato dalla superficie all'acquifero e quindi la durata delle azioni di autodepurazione e attenuazione.

Pertanto la massima vulnerabilità si avrà con la falda in condizioni di massimo impinguamento, cioè quando è minimo lo spessore che un inquinante deve attraversare per giungere alle acque sotterranee. Il punteggio relativo al parametro in discussione diminuisce con l'aumentare della profondità cioè con l'aumentare dello spessore dell'insaturo, assumendo valori compresi tra 10 e 1. Il decremento del punteggio è di tipo iperbolico ed il punteggio tende a 1 per valori di soggiacenza superiori ai 60 metri (Fig. 3.2).

3.2.3 La Carta dell'Infiltrazione efficace

Il parametro dell'infiltrazione efficace assume particolare importanza e, come si vedrà in seguito, ha un peso sempre alto nella valutazione della vulnerabilità. Esso regge il trascinarsi in profondità degli inquinanti e la loro diluizione, inizialmente



nell'insaturo e poi nella zona di saturazione.

Il parametro dipende da fattori meteorologici (piovosità e temperatura) e fattori idrogeologici che vengono conglobati nell'indice di infiltrazione (χ). Quest'ultimo viene determinato in base alla litologia superficiale o in base alle caratteristiche del suolo se questo è molto potente (Fig. 3.3).

Nello specifico, non è stato necessario calcolare la funzione matematica esistente tra temperatura e quota e le funzioni che esprimono la relazione tra la piovosità e la quota avendo utilizzato un software per l'interpolazione puntuale dei due parametri.

Se il suolo non è considerato molto potente, per il calcolo dell'indice di infiltrazione si usa la tabella proposta da SINTACS .

Ricavate la carte di base, si procede al calcolo dell'infiltrazione efficace:

✓ calcolo della media matematiche delle precipitazioni (mm) e delle temperature mensili, ottenendo 12 carte delle isoiete e 12 carte delle isoterme, su un periodo di 10-20 anni.

✓ si calcola di T_c cioè delle temperature medie interannuali corrette in funzione della piovosità utilizzando la seguente relazione:

$$T_c = \frac{\sum \overline{P_i} \cdot \overline{T_i}}{\sum \overline{P_i}}$$

in cui $\overline{P_i}$ rappresenta la piovosità media mensile (mm) e $\overline{T_i}$ rappresenta la temperatura media mensile ($^{\circ}\text{C}$).

✓ calcolo di L cioè il potere evaporante dell'atmosfera tramite la seguente relazione:

$$L = 300 + 25T_c + 0.05T_c^3$$

✓ calcolo di Er cioè il tasso di evapotraspirazione reale usando il modello empirico di Turc (1954):

$$Er = \frac{\overline{P}}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{\overline{P}^2}{L^2}\right)}} \text{ (mm/anno)}$$

in cui \overline{P} rappresenta la piovosità media annua (non è stato necessario correggere il



dato rispetto alla quota, come indicato dal metodo SINTACS perché erano state precedentemente elaborate le carte puntuali di piovosità.

✓ calcolo di Q cioè il valore delle precipitazioni efficaci medie annue, sempre valutata in mm/anno :

$$\bar{Q} = \bar{P} - \bar{Er}$$

Il valore ottenuto viene moltiplicato per quello dell'indice proprio del tipo di roccia presente per ottenere il dato puntuale dell'indice di infiltrazione potenziale. Questo va a sua volta riclassificato in punteggi SINTACS seguendo il grafico proposto (Fig. 3.4).

Il punteggio massimo viene attribuito all'intervallo di infiltrazione tra 200 e 300 mm/anno e diminuisce per valori maggiori fino a tendere asintoticamente al punteggio 2 in quanto, a fronte di un incremento del trascinarsi in profondità di un eventuale inquinante, si tiene conto dei processi di diluizione che intervengono a mitigarne l'effetto.

3.2.4 *La Carta dell'effetto di autodepurazione del Non-saturo*

La zona insatura è quella compresa tra la superficie topografica e la zona satura dell'acquifero ed in essa avvengono spostamenti prevalentemente verticali dell'acqua. Il suo spessore è evidentemente variabile, seguendo le fluttuazioni della superficie piezometrica, per un acquifero libero, mentre è fisso nel caso di acquifero in pressione.

L'insaturo costituisce la seconda *linea di difesa* dell'acquifero (la prima è il suolo) nei confronti di un inquinante liquido o idroveicolato proveniente dalla superficie perché in esso si possono realizzare una serie di processi di attenuazione di tipo chimico e fisico come ad esempio processi di filtrazione e dispersione, biodegradazione, volatilizzazione e reazioni con i minerali componenti il mezzo (scambi cationici, reazioni acido-base, adsorbimento, ecc.) .

I primi sono fenomeni essenzialmente meccanici e dipendono soprattutto da granulometria, uniformità, spessore e grado di diagenesi, cioè da quei fattori che determinano la lunghezza dei percorsi ; gli altri sono dovuti alle caratteristiche chimiche del mezzo e quindi alla mineralogia delle rocce che lo compongono e alla potenza dello



strato attraversato che determina un'azione più o meno efficace.

L'effetto di autodepurazione del non saturo si valuta dunque, a partire dalle condizioni litologiche dello spessore insaturo, calcolando la media pesata ed utilizzando il grafico proposto da SINTACS (Fig. 3.5).

3.2.5 La Carta della Tipologia della copertura

Come è noto, la tipologia dei terreni di copertura, in genere, e dei suoli, in particolare, riveste un ruolo della massima importanza nella mitigazione dell' impatto degli inquinanti e nella valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi e, quindi, nella stesura delle moderne Carte di Vulnerabilità.

Il suolo è qui identificato come sottosistema aperto, trifase, accumulatore e trasformatore di energia e materia (Busoni et al., 1995) che si sviluppa per alterazione e trasformazione fisico - chimica e biologica dei litotipi del substrato e delle sostanze organiche che vi si accumulano. Esso costituisce, come si è detto, la prima linea di difesa del sistema acquifero: è al suo interno che si esplicano importanti processi che collettivamente costituiscono il potenziale di attenuazione del suolo. Due gruppi di parametri pedologici devono prendersi in considerazione nella valutazione di tale potenziale. I parametri del primo gruppo controllano direttamente la situazione fisica reale ed i processi che la caratterizzano (assorbimento, filtrazione, capacità di drenaggio, grado di umidità, velocità di infiltrazione, ecc.):

- ✓ la granulometria;
- ✓ la tessitura;
- ✓ lo spessore effettivo;
- ✓ la massa volumica apparente (densità volumetrica);
- ✓ la porosità totale;
- ✓ la quantità d'acqua disponibile per la vegetazione;
- ✓ la conducibilità idraulica.

La granulometria dei suoli viene ricavata da campionamenti ed analisi come distribuzione delle classi dimensionali delle particelle minerali del suolo. Nella classificazione internazionale si assumono tre classi granulometriche .



È da rilevare che nella classe Argilla vengono compresi numerosi materiali anche molto diversi mineralogicamente dalle argille propriamente dette. Per la frazione che riunisce le particelle con diametro maggiore di 2 mm (scheletro), si fa riferimento sia alla loro percentuale del volume del suolo, sia alla dimensione dei granuli, sia alla loro forma.

Dalla distribuzione percentuale delle tre frazioni granulometriche con diametro inferiore a 2 mm (sabbia, limo, argilla) si caratterizza la tessitura mediante diagrammi triangolari (Fig. 3.6) come quello, tra i più utilizzati in campo applicativo, proposto dall'United States Department of Agriculture (USDA -Soil Conservation Service, 1951).

Sulla base delle caratteristiche tessiturali si risale al punteggio SINTACS utilizzando il grafico proposto (Fig. 3.7).

3.2.6 La Carta della tipologia dell'Acquifero

La Carta della tipologia dell'Acquifero descrive i processi che avvengono al di sotto della superficie piezometrica, quando un inquinante idroveicolato giunge a mescolarsi con l'acqua sotterranea dopo aver superato le due "linee di difesa" costituite dalla copertura e dal non saturo con un abbattimento più o meno consistente della sua concentrazione iniziale.

La tipologia dell'acquifero (litologia, fratturazione ed altri fattori) fa sì che si compiano determinati processi quali:

- la dispersione;
- la diluizione;
- l'assorbimento;
- la reattività chimica del mezzo.

Questi processi come si è detto hanno un'azione "benefica" su quella che è la qualità dell'acqua circolante nella falda, contrastando in vari modi la presenza di un inquinante idroveicolato. Riconosciute le caratteristiche dei complessi rocciosi si ricava il punteggio dal grafico proposto (Fig. 3.8).



3.2.7 La Carta della Conducibilità idraulica

La conducibilità idraulica rappresenta la capacità di spostamento dell'acqua di falda nel mezzo saturo, e quindi anche di un inquinante disciolto o idroveicolato, che non ne alteri troppo le caratteristiche di densità. A parità di altre condizioni (gradiente idraulico e area della sezione della falda perpendicolare al flusso) dipende da questo parametro la velocità di spostamento dell'acqua e la portata unitaria dell'acquifero e quindi la possibilità che l'inquinante raggiunga in poco tempo un punto di captazione.

In generale i dati dovrebbero essere ottenuti tramite prove di pompaggio in pozzo, che sono il metodo più affidabile per valutare con precisione questo parametro, ma presentano non pochi problemi, soprattutto perché, i dati che si ottengono non possono coprire vaste aree, ma danno solo informazioni puntuali.

I dati di conducibilità idraulica che caratterizzano l'acquifero non sono sempre disponibili. Per questa ragione SINTACS offre, oltre all'approccio diretto, basato sui valori di **K** (Fig. 3.9), anche un metodo di stima indiretta che basa la valutazione della conducibilità sulla natura litologica dell'acquifero (Fig. 3.10).

3.2.8 La Carta dell'acclività della Superficie topografica

Tale parametro incide sulla vulnerabilità intrinseca perché da esso dipende la quantità d'acqua piovana che, a parità di precipitazione, è soggetta a ruscellamento e determina la velocità di spostamento di questa e di un eventuale inquinante fluido o idroveicolato. Quindi il metodo SINTACS attribuisce punteggi elevati alle celle con pendenza media molto blanda là dove l'inquinante può spostarsi molto lentamente e eventualmente ristagnare così da favorire l'infiltrazione nel sottosuolo (Fig. 3.11).

3.2.9 La Carta dei PESI

La carta dei pesi è stata concepita dal metodo SINTACS in modo da esaltare o ridurre i punteggi assegnati alle singole carte in base alla situazione idrogeologica e di impatto presente in ogni settore del territorio interessato.

I moltiplicatori sono numeri interi che vanno da 1 a 5 e differenziano il loro valore in base alla situazione presente. Il metodo individua cinque situazioni d'impatto diverse



quali:

- Impatto normale
- Impatto rilevante
- Drenaggio
- Carsismo
- Fessurato

Le prime due situazioni servono a descrivere scenari improntati a scarso gradiente topografico ove sussistano le condizioni per una intensiva antropizzazione. La terza situazione è stata studiata per le aree interessate da un notevole travaso da corpi idrici superficiali a quelli sotterranei soggiacenti, indipendentemente dalla morfologia superficiale. La quarta descrive le situazioni con presenza di situazioni carsiche importanti e la quinta, infine, descrive le situazioni con presenza di rocce fessurate o con debole carsismo.

Nell'area di pianura sono presenti le prime tre situazioni escludendo le ultime due per evidenti motivi.

Le caratteristiche dei diversi impatti sono:

Impatto normale: riunisce tutte quelle situazioni, collegate in genere ad aree a scarso gradiente topografico (pianura, pedemonte, pianalto, conche intramontane, ecc.....) ove non sussistono particolari condizioni di impatto antropico e con utilizzo reale del territorio contenuto e scarsamente trasformato.

Si tratta di aree sterili, incolte o con colture spontanee o che comunque non richiedono uso di fitofarmaci, concimi chimici, se non eccezionalmente e/o in dosi modeste, né pratiche irrigue. In tali aree viene realizzato sovente l'allevamento brado sia stagionale che stanziale. Mentre è evidente che un numero limitato di capi non comporta particolari impatti, viene lasciato alla discrezione dell'analista la scelta di attribuire a questi ambiti territoriali la classificazione normale oppure quella successivamente descritta (impatti rilevanti). Gli insediamenti anche se limitati non possono essere inclusi in questo tipo di scenario.

La stringa specifica esalta al massimo il peso relativo della soggiacenza e dell'insaturo, strettamente collegati alla effettiva penetrabilità del sistema da parte



dell'inquinante fluido. Valori bassi di soggiacenza, ricordiamolo, corrispondono a punteggi alti che vengono quintuplicati dallo specifico peso di stringa influenzando pesantemente sull'indice di vulnerabilità. Analogamente, un insaturo capace di una forte azione di mitigazione darà un prodotto basso anche se il moltiplicatore è elevato mentre insaturi facilmente penetrabili incrementeranno fortemente l'indice di vulnerabilità. Appena minore è l'enfasi attribuita, in queste condizioni, alla ricarica attiva ed all'azione di prima barriera della copertura, considerando la buona azione di drenaggio esterno che caratterizza i suoli naturali indisturbati, ove presenti. Il tipo di acquifero e la sua conducibilità idraulica entrano in giuoco solo quando la diluizione è operante mentre non grande importanza assume il gradiente topografico, anche se ridotto.

Impatto rilevante: questa linea di pesi serve a modellare situazioni territoriali che favoriscono impatti importanti da fonti diffuse di inquinamento potenziale. Si tratta di territori, con insaturo costituito in prevalenza da mezzi a permeabilità matriciale, morfologicamente adatti ad antropizzazione estensiva, con colture che prevedono abbondanti trattamenti con fitofarmaci, concimi chimici, applicazioni di fertirrigazione, spargimento di liquami; aree a discarica incontrollata, lagoni, vasche di dispersione, oleodotti, collettori fognari, ecc.; aree industriali attive e dismesse, aree urbanizzate e assimilabili.

In queste condizioni è evidente che il sottosistema insaturo gioca un ruolo altamente preponderante, qualsiasi sia la tipologia dell' acquifero sottostante e la sua conducibilità idraulica.

La stringa dunque è stata strutturata in modo da esaltare notevolmente la funzione della soggiacenza e dell' insaturo combinati, ma anche quella fondamentale del suolo come primo e potente baluardo contro l'inquinamento chimico e batteriologico idroveicolato da fonti sia diffuse che puntuali. Notevole enfasi viene attribuita anche al parametro infiltrazione per tenere conto delle pratiche irrigue che forniscono un potente vettore agli inquinanti sparsi o/e applicati sulla superficie del suolo; e delle perdite da strutture di accumulo o di condottamento di inquinanti (discariche, lagoni, serbatoi, sistemi fognari, oleodotti, etc.).

Drenaggio: uno scenario particolare è stato identificato per quelle aree ove avviene



un continuo o, comunque, frequente drenaggio da corpi idrici superficiali a quelli sotterranei soggiacenti. Questa linea di pesi è stata calibrata fondamentalmente sulla forte riduzione se non sull'annullamento della soggiacenza in corrispondenza dei punti (o delle zone) nei quali può sussistere un collegamento tra acquifero e reticolo drenante superficiale, sia naturale che artificiale. Tali zone devono comprendere, oltre alle parti direttamente connesse al suddetto reticolo, le aree abitualmente esondabili dai corsi d'acqua in regime di piena e le aree soggette ad esondazione frequente; le aree di irrigazione con grandi volumi d'acqua (irrigazione per sommersione e per scorrimento); le aree di affioramento continuo o periodico della superficie piezometrica libera (stagni, marcite, paludi). È evidente che le aree ove applicare la stringa in discussione devono essere accuratamente selezionate in funzione di indicazioni idrologiche presenti nei Piani di Bacino e nelle Carte dell'uso reale del territorio.

Integrazioni e discriminazioni delle informazioni di base possono dedursi dalle coperture Remote Sensing e aerofotografiche e dalle elaborazioni della topografia (Carte del reticolo drenante, con valutazione discretizzata della densità di drenaggio).

In situazioni del tipo descritto, i parametri fondamentali che caratterizzano l'insaturo ed i processi che in esso avvengono vengono meno esaltati dai moltiplicatori, mentre forte rilevanza viene attribuita al tipo di acquifero ed alla sua conducibilità idraulica. Ciò per esaltare l'importanza di tempi di transito veloci, l'alta capacità di ingestione e di diluizione del corpo idrico sotterraneo.

Il suolo gioca un ruolo secondario in questo scenario come pure l'acclività, per altro sempre molto limitata.



4 Le Carte della Vulnerabilità Intrinseca

Come detto in Premessa, le carte dei parametri necessari alla carta della vulnerabilità intrinseca sono state redatte anche sulla base di alcune carte di base opportunamente predisposte.

Esse sono la Carta delle isofreatiche e della rete di monitoraggio, il Modello tridimensionale, la Carta delle isoiete e quella delle isoterme, la Carta geolitologica e la Carta della permeabilità superficiale

4.1 Carta delle isofreatiche e della rete di monitoraggio

La carta delle isofreatiche è stata elaborata ex novo nell'ambito di questo studio, utilizzando i dati della rete freaticometrica regionale relativamente a 258 pozzi (Fig. 4.1 e Database allegato). La maggior parte di questi ricadono nella provincia di Udine; alcuni, ubicati in provincia di Gorizia, sono stati ritenuti necessari per la corretta valutazione delle isofreatiche nell'area di pertinenza della Provincia di Udine.

I dati di partenza sono stati forniti dal Servizio Idraulica, Direzione Regionale dell'Ambiente. I periodi di osservazione sono diversi (si hanno solo alcuni giorni o più di 30 anni consecutivi) per cui non tutti i pozzi sono stati utilizzati per l'elaborazione della carta. Anche alcune misure puntuali rilevate durante le ricerche eseguite dal DiSGAM per la DRA della RA FVG, hanno contribuito alla ricostruzione di massima delle isofreatiche, specie in prossimità dei rilievi nell'area a NE di Cividale di Friuli e nelle vicinanze di Nimis.

La carta delle isofreatiche è stata utilizzata per il calcolo della soggiacenza della falda nella situazione di massima vulnerabilità e quindi di massimo impingamento.

Le isofreatiche sono state dapprima elaborate a mano con un intervallo di 5 m partendo dalla quota di 10 m fino a quella di 170 m sul l.m.m.

L'elaborazione manuale è legata alla necessità di selezionare il singolo dato per tenere in considerazione solamente le serie significative e all'opportunità di tenere in evidenza gli elementi geomorfologici che condizionano la soggiacenza, facendo avvicinare la tavola acqua alla superficie topografica in prossimità dei rilievi e dei corsi d'acqua.



4.2 Il Modello tridimensionale (TIN)

I TIN (*Triangulated Irregular Network*) rappresentano un modello efficiente per memorizzare ed analizzare superfici.

In un modello TIN la superficie è rappresentata come una rete di triangoli irregolari con vertici condivisi i quali possiedono coordinate x, y e z. Il TIN si avvale di algoritmi che suddividono lo spazio in triangoli irregolari i cui vertici coincidono con i punti quotati di ingresso. A partire da un TIN è possibile interpolare curve di livello, effettuare analisi di visibilità, generare profili longitudinali, effettuare analisi di pendenza e di esposizione, generare viste 3D, ecc.

In questo lavoro sono stati realizzati due TIN, uno rappresentante la superficie topografica (Fig: 4.2) e l'altro la superficie freatica (Fig:4.3).

Per il primo, i punti in ingresso sono stati ricavati dal *layer* 1P000PQ della CTRN 1:5000 regionale e corrispondono ai punti quotati di origine fotogrammetrica. Questi punti una volta estratti sono stati "puliti" con l'eliminazione manuale dei punti con quota ritenuta non sicura.

Attraverso l'estensione 3D Analyst di ArcGIS questi punti sono stati trasformati in una superficie che è risultata costituita da 202.869 nodi, 1.199.298 bordi e 399.766 triangoli.

Il secondo TIN è stato realizzato informatizzata la *Carta delle isofreatiche*. Anche in questo caso per creare la superficie è stata usata l'estensione 3D Analyst linee e non punti come per il precedente.

4.3 La Carta delle isoiete e la Carta delle isoterme

Le carte delle isoiete sono state redatte interpolando i dati puntuali di 137 stazioni pluviometriche dislocate entro ed oltre i confini regionali (è in allegato il Database relativo).

Utilizzando l'estensione Geostatistical Analyst di ArcGIS sono stati interpolati i valori areali e le relative isoiete. L'interpolazione dei dati è stata effettuata con il metodo "Kriging", il più adatto alla costruzione di isolinee di temperatura e piovosità



nel caso specifico.

Sono state redatte 13 carte, 12 con le medie mensili e una con la media annua, tutte per un lasso di tempo ventennale, dal 1950 al 1970 (Figg. da 4.4 a 4.16).

Come si può notare il mese più piovoso risulta essere novembre sia come valore massimo che come valore medio: 523 mm e 223 mm rispettivamente. I mesi meno piovosi risultano essere gennaio per quanto riguarda la media di tutte le stazioni, con 93 mm, e marzo per quanto riguarda il valore massimo, che risulta essere di 229 mm di pioggia caduta.

Si nota che le isoiete si dispongono parallele all'andamento pedemontano con la massima piovosità riscontrata presso i Monti Musi e il minimo nella zona lagunare di Lignano.

La piovosità annuale risulta piuttosto elevata, fattore questo che incide sulla diluizione dei contaminanti ma anche sul loro trascinarsi in falda.

Periodo	Massima (mm)	Media (mm)
Gennaio	273	93
Febbraio	268	109
Marzo	229	100
Aprile	301	134
Maggio	239	128
Giugno	309	167
Luglio	276	135
Agosto	380	163
Settembre	315	157
Ottobre	371	157
Novembre	523	223
Dicembre	316	137
Anno	3570	1697



Le carte delle isoterme sono state redatte seguendo lo stesso metodo utilizzato per le carte delle isoiete (è in allegato il Database relativo).

I dati puntuali delle temperature mensili (minima e massima) sono stati forniti dalla Provincia di Udine che li ha tratti dallo studio dell'ENEA "Profilo climatico dell' Italia". Non si conosce l'estensione della serie storica anche se ritiene sia di almeno 10 anni, il che porta a considerare i dati trattati come confrontabili con i dati pluviometrici.

Le stazioni prese in considerazione sono 30, ubicate in maniera omogenea nel territorio regionale e nelle sue immediate vicinanze.

Dalle 12 carte delle isoterme medie mensili (Figg. da 4.17 a 4.28) si nota che queste si dispongono in maniera più o meno costante parallele al settore pedemontano con valori minimi nell'area dei Monti Musi e massimi in una fascia di pianura ad andamento NW-SE e asse la linea Rivolto (UD) - Ronchi dei Legionari (GO) ed ampiezza variabile.

Nell'area in esame il mese più freddo risulta essere gennaio con una temperatura media di 0.6 °C e il più caldo luglio con 19.8 °C.

Periodo	Media (°C)
Gennaio	0.6
Febbraio	2.2
Marzo	5.6
Aprile	9.7
Maggio	14.1
Giugno	17.7
Luglio	19.8
Agosto	19.4
Settembre	16.4
Ottobre	11.6
Novembre	6.1



Dicembre	1.87
----------	------

4.4 La Soggiacenza

La Carta della Soggiacenza della falda freatica (Fig. 4.29) dell'Alta pianura è stata ottenuta dalla differenza altimetrica (valori s.l.m.m.) fra i punti dei due TIN elaborati precedentemente, cioè del Modello tridimensionale della superficie topografica e del Modello tridimensionale delle isofreatiche. I due modelli sono stati rasterizzati e si è proceduto alla quantificazione della differenza dei valori di quota di ogni cella. Per inciso, in questo modo si è ottenuta anche una mappatura della fascia delle risorgive ove la differenza tra i modelli è uguale a zero. La carta del parametro soggiacenza secondo SINTACS è stata ricavata nell'Alta pianura attribuendo i punteggi in funzione dei diversi intervalli di profondità utilizzando le tabelle proposte.

La fascia subito a monte della Linea delle risorgive ha punteggio 10 così come quella in prossimità dell'asta del Tagliamento fino alla base del terrazzo. Assieme le due fasce coprono il 7 % del territorio (Fig: 4.30). Un altro piccolo areale lambisce i rilievi e i colli a SE di Udine. Spostandosi dalla Linea delle risorgive verso nord e allontanandosi dall'asta del Tagliamento si passa a punteggi inferiori. La classe più rappresentata è quella a valore 2, che copre il 18 % del territorio. Nella Bassa pianura, considerato che il tetto della prima falda in pressione A si trova mediamente a 30 m di profondità, a tutta l'area nella quale la falda freatica non è presente si è attribuito il valore 3.

Nel Campo di Osoppo e Gemona le classi rappresentative vanno dal punteggio 10 al 8 vista la bassa profondità della falda dal piano campagna.

classe	soggiacenza	
10	0,0	2,0
9	2,0	3,5
8	3,5	5,0
7	5,0	7,0
6	7,0	10,0
5	10,0	14,0



4	14,0	20,0
3	20,0	30,0
2	30,0	60,0
1	>60	

4.5 L'Infiltrazione efficace

Il parametro dipende da fattori meteorologici (piovosità e temperatura) e da fattori idrogeologici che vengono conglobati nell'indice di infiltrazione (χ). Quest'ultimo viene determinato in base alla litologia superficiale o in base alle caratteristiche del suolo se questo è molto potente.

Il metodo seguito è quello proposto da SINTACS con alcune semplificazioni di carattere operativo. Nello specifico, non è stato necessario calcolare la funzione matematica esistente tra temperatura e quota e le funzioni che esprimono la relazione tra la piovosità e la quota, avendo utilizzato un software per l'interpolazione puntuale dei due parametri.

L'indice di infiltrazione χ è stato calcolato dall'ERSA che ha fornito la Carta del parametro già elaborata e georiferita (Fig: 4.31).

Le carte della piovosità media mensile e della temperatura media mensile sono state redatte prendendo in considerazione stazioni pluviometriche e termometriche (Figg. da 4.17 a 4.28) come illustrato nel cap. 4.3. Sono state eseguite le medie matematiche delle precipitazioni (mm) e delle temperature mensili ($^{\circ}\text{C}$), ottenendo 12 carte delle isoiete e 12 carte delle isoterme e la Carta della piovosità media annua. Tutte le carte sono state successivamente interpolate e rasterizzate tramite ArcGIS per ottenere i valori per ogni cella. Ricavate le carte di base, si è proceduto al calcolo dell'infiltrazione efficace come indicato nel protocollo SINTACS.

Come si può notare, i valori di precipitazione efficace, notevolmente influenzati dalla tipologia del suolo, risultano estremamente variabili da nord verso sud, passando da 2.996 mm/a a 390 mm/a.

Dalle figure dell'infiltrazione efficace (Figg: 4.32 e 4.33) si evidenzia come il valore parametrico di punteggio più frequente in pianura è 5, il che indica una infiltrazione efficace ai sensi della vulnerabilità media.



Le classi a valore più elevato si trovano nella Bassa pianura dove con i punteggi 7 e 8 caratterizzano il 36 % della pianura.

Spostandosi verso nord, l'aumento della piovosità e dei fenomeni di ruscellamento portano ad una diminuzione dell'infiltrazione efficace che si attesta su punteggi che da 5 raggiungono il valore 2 interessando il 60 % del territorio della pianura.

Il Campo di Osoppo e Gemona è interessato da classi a basso valore di infiltrazione efficace, ovvero 2, 3 e 5; in particolare le prime due classi coinvolgono il 74 % della piana.

4.6 Il Non-saturo (effetto di autodepurazione)

Per l'elaborazione delle carte parametriche del Non-saturo, dell'Acquifero e della sua Conducibilità, si è costruito l'assetto litostratigrafico del sottosuolo utilizzando le stratigrafie dei pozzi riportati nel "Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli-Venezia Giulia" (RAF-VG, 1990).

Come risulta dal database allegato, sono utilizzabili 501 pozzi nell'Alta Pianura, 290 nella Bassa pianura e 115 nel Campo di Osoppo e Gemona.

Va premesso che l'attendibilità del dato puntuale è molto variabile e quindi che, al fine di assegnare un punteggio SINTACS significativo, si è resa necessaria di volta in volta l'interpretazione della stratigrafia riportata, valutando oltre alla tipologia del sondaggio anche i pozzi limitrofi,

Come carta di base si è utilizzato il "Modello strutturale ed idrogeologico" alla scala 1:50.000", elaborato dal DiSGAM nel 2000 per conto della DRA - RAFVG.

La distribuzione dei pozzi sul territorio è disomogenea: il Campo di Osoppo e Gemona risulta aver maggior e più ben distribuita copertura, nell'Alta pianura si passa da zone ad alta densità con pozzi distanti meno di 100 m, a zone con pozzi posti a distanza di quasi 10 km. Si tratta in quest'ultimo caso di zone a bassa densità abitativa e/o ad elevata profondità delle acque dal piano campagna, quali l'areale che dalla sinistra Tagliamento raggiunge la destra Corno e altri areali ubicati tra il Corno e il Cormor a cavallo della Linea della risorgive.



La zona insatura, come già illustrato, è quella compresa tra la superficie topografica e la zona satura dell'acquifero ed ha spessore variabile, viste non solo la profondità della falda ma anche le fluttuazioni della superficie piezometrica nell'acquifero libero.

Per quanto riguarda la falda freatica dell'Alta Pianura si è preso in considerazione lo spessore dell'insaturo nel caso del massimo impinguamento, mentre per quanto riguarda la prima delle falde artesiane, si è fatto riferimento ad un valore fisso come suggerito dal protocollo SINTACS.

L'effetto di autodepurazione del non saturo si valuta dunque, a partire dalle condizioni litologiche dello spessore insaturo. Nel presente lavoro si è utilizzata la ricostruzione della litostratigrafia del sottosuolo per attribuire ad ogni unità litostratigrafica presente un punteggio seguendo la tabella SINTACS e cercando nel *range* di valori proposti per le varie litologie quello che più si adattava alla situazione in esame.

Essendo lo spessore dell'insaturo costituito da diversi corpi litologici si è calcolata la media ponderale riferita allo spessore, valore dato dal rapporto tra la sommatoria del prodotto del punteggio (P) di ogni singolo litotipo per il suo spessore (h) e la potenza totale del non saturo (considerato lo stato di massimo impinguamento della falda)

$$N = \frac{\sum_{j=1}^n h_j P_j}{\sum_{j=1}^n h_j}$$

Dei 501 pozzi ubicati nell'Alta Pianura, 74 non raggiungono la falda e la parametrizzazione è stata effettuata a solo scopo di confronto, non tenendo poi conto in fase di elaborazione della carta parametrica dei valori non significativi.

Tutti i punteggi puntuali così ricavati sono stati plottati sulla carta "Modello strutturale ed idrogeologico" (Fig. 4.34) per determinare gli areali a diverso punteggio SINTACS.

Nella Bassa pianura dove l'acquifero è confinato da livelli impermeabili il valore del punteggio attribuito all'azione mitigatrice dell'insaturo è 1, come previsto dal protocollo metodologico.

Come si può vedere dalla carta parametrica e dal diagramma a torta (Figg. 4.35, 4.36), i punteggi vanno da 1 a 9 con l'esclusione del valore 2. Le classi più



rappresentate sono quelle a valore 7 e 8 oltre che 1. Quest'ultima coinvolge essenzialmente la Bassa pianura, interessando il 38 % del territorio. La classe 9 si trova in prossimità dell'asta del fiume Tagliamento, mentre la maggior parte dell'Alta pianura è interessata dalle classi a valore 7 e 8 che coprono il 44 % del territorio. Gli areali in prossimità dei rilievi e dell'Anfiteatro morenico risultano avere valori più bassi (variano da 3 a 6) per la presenza nell'immediato sottosuolo di sedimenti fini e interessano il 16 % del territorio, quasi tutto ricadente in classe a valore 6.

Un discorso a parte va fatto per il Campo di Osoppo e Gemona, dove i valori SINTACS per l'insaturo vanno da 3 a 7; i valori più bassi si rinvencono nell'area SE e in prossimità dei colli occidentali in prossimità dell'alveo del Tagliamento. La classe a valore 6 copre quasi il 50 % del territorio, quella a valore 7, che caratterizza l'area a SW in prossimità dell'asta del Tagliamento, investe il 16 % del territorio.

4.7 La Tipologia della copertura

La carta della tipologia della copertura, con i relativi punteggi SINTACS, è stata fornita in formato digitale dall'ERSA (Fig 4.37).

La carta, definita "Carta della capacità protettiva del suolo", risulta redatta sulla base di informazioni fisiche, chimiche e idrologiche sui suoli, tramite la definizione della granulometria, dei valori AWC e CEC e della conducibilità idraulica.

L'AWC quantifica l'acqua disponibile per le piante: quanto più è elevato il suo valore, tanto è maggiore la pioggia efficace. L'AWC è stata stimata dai ricercatori dell'ERSA sugli orizzonti tramite una pedo-funzione che considera il contenuto di sabbia, di argilla e di carbonio organico, corretta per lo scheletro e riportata a volume tramite la *bulk density*. I valori così ottenuti sono stati ponderati sul primo metro di suolo.

L'algoritmo utilizzato è stato elaborato sulla base di misure di ritenzione idrica effettuate in camera di Richards su campioni di suoli regionali (ERSA, non pubbl.).

La CEC esprime la capacità del terreno di adsorbire i cationi metallici riducendo in tal modo la loro lisciviazione. Il potere adsorbente del suolo è strettamente legato al contenuto e al tipo di argilla e sostanza organica. La CEC misurata sugli orizzonti è



stata ponderata sul primo metro di suolo tenendo conto dello spessore degli orizzonti stessi e del loro contenuto in scheletro.

La permeabilità, valutata sullo strato meno permeabile con almeno 30 cm di spessore anche cumulativo, è stata classificata sulla base della famiglia granulometrica, della tessitura e della struttura degli orizzonti presi in considerazione. La sezione di controllo considerata è 0-150 cm. Per la valutazione è stata utilizzata una tabella interpretativa della permeabilità di cui una prima validazione sui suoli del Friuli-Venezia Giulia è stata effettuata con prove di infiltrometria con il metodo a doppio cilindro.

Nella pianura, spostandosi da nord verso sud, si assiste ad una generale diminuzione del punteggio: in particolare nell'Alta pianura sono rilevanti le classi a valore 7 e 8 che coinvolgono il 51 % del territorio (Fig. 4.38), nella Bassa pianura invece si evidenziano le classi a valore 4 e 5 che interessano il 34 % del territorio.

Nella piana di Osoppo e Gemona, spostandosi dall'asta del Tagliamento verso est si passa via da classi a punteggio 9 (3 %) al 8 (25 %) al 5 (46%) e al 4 (26%).

4.8 L' Acquifero (caratteristiche idrogeologiche)

Come per la Carta dell'insaturo, per l'elaborazione di questo parametro si è costruito l'assetto litostratigrafico del sottosuolo utilizzando le stratigrafie dei pozzi riportati nel "Catasto regionale dei pozzi per acqua e delle perforazioni eseguite nelle alluvioni quaternarie e nei depositi sciolti del Friuli-Venezia Giulia" (RAF-VG, 1990).

Nell'Alta Pianura si è presa in considerazione la litostratigrafia del primo orizzonte significativo presente sotto il livello di falda esaminando i 427 pozzi del catasto; nella Bassa pianura si è considerata la litologia del primo acquifero confinato. Tutti i punteggi puntuali così ricavati sono stati plottati sulla carta "Modello strutturale ed idrogeologico" a scala 1:50.000 per determinare gli areali a diverso punteggio SINTACS.

Dalla disamina della carta parametrica e dal diagramma a torta (Figg. 4.39, 4.40) ottenuti, risulta che la maggior parte dell'acquifero rientra in classe a valore 8 (coprendo il 67 % di territorio), a definizione di una falda contenuta in ghiaie, ghiaie "sporche" o ghiaie e sabbie. Si distingue un'area a punteggio minore in prossimità dell'Anfiteatro



morenico a settentrione e nella zona circumlagunare a meridione (con valori da 3 a 7 a coprire il 30% del territorio). Si evidenzia altresì un'area a punteggio elevato in prossimità dell'asta del Tagliamento (con valori di 9 a coprire il 3% del territorio).

Un discorso a parte si ha nel Campo di Osoppo e Gemona dove le classi che interessano l'acquifero vanno da 1 a 9; in particolare la classe a valore 1, che interessa l'11 % dell'areale, si trova nel settore SE dell'area a ovest di Magnano in Riviera. In quest'area oltre alla falda freatica prossima al piano campagna, vi sono localmente anche falde in condizioni di semi artesianità vista la presenza, a poca profondità dal piano campagna, di lenti argillose. La falda freatica risulta contenuta nella parte più superficiale in un acquifero poco permeabile.

Le classi a valore 8 e 7 coprono il 50 % del territorio della piana: la prima interessa la parte più a ovest prossima all'asta del Tagliamento. Le classi a valore da 2 a 6 che interessano il 39 % del territorio si trovano in prossimità del limite con l'Anfiteatro morenico lungo tutta la fascia meridionale del Campo.

4.9 La Conducibilità idraulica

Nell'Alta pianura si è preso in considerazione il primo orizzonte idrogeologicamente significativo presente sotto il livello di falda, esaminando i 427 pozzi del catasto; nella Bassa pianura si è considerata la litologia del primo acquifero confinato. Tutti i punteggi puntuali così ricavati sono stati plottati sulla carta "Modello strutturale ed idrogeologico" a scala 1:50.000 per determinare gli areali a diverso punteggio SINTACS; la carta è stata inoltre elaborata tenendo presente quanto emerso nell'elaborazione della "Carta parametrica dell'acquifero" (si veda anche il cap. 4.8).

I dati sono stati integrati con le informazioni puntuali sulla conducibilità ottenute da prove dirette e da informazioni provenienti da misure correntometriche.

Dalla disamina della carta parametrica e dal grafico (Figg. 4.41, 4.42) si nota come il punteggio 10, che interessa quasi il 3 % del territorio cioè le aree in prossimità del Tagliamento e quelle a nord di Nimis, evidenzia gli elevati gradienti idraulici e gli acquiferi con ghiaie pulite

Le classi a valore 8 e 9, che coprono quasi tutta la pianura ovvero l'83 % di territorio,



vedono la classe a valore 9 ubicata a occidente (area di principale interesse del conoide del Tagliamento) e a oriente (conoide del sistema Torre - Natisone - Isonzo); la classe a minor conducibilità (classe 8) è quella centrale dove, per inciso, prevale la precipitazione meteorica sugli apporti fluviali come sistema di alimentazione.

Classi a punteggio più basso (da 3 a 7) si rinvengono a settentrione in prossimità dell'Anfiteatro morenico e a meridione nella zona perilagunare e nel latisanese (coprendo in tutto il 14 % del territorio).

Nel Campo di Osoppo e Gemona, dove le classi che interessano l'acquifero hanno valore che va da 1 a 9, la classe 1 in particolare interessa l'11 % dell'areale e si trova a SE dell'area a ovest di Magnano in Riviera.

Le classi a valore 9 e 8 coprono il 44 % del territorio: la prima interessa la parte più a ovest ovvero quella più prossima all'asta del Tagliamento.

Le classi a valore da 2 a 7, che interessano il 39 % del territorio, si trovano in prossimità del limite con l'Anfiteatro morenico lungo tutta la fascia meridionale del Campo, oltre a trovarsi al limite dell'area nord orientale.

4.10 La Superficie topografica (acclività)

Questo parametro è stato calcolato in base al valore di acclività di ogni triangolo del TIN della superficie topografica utilizzando l'estensione 3D Analyst di ArcINFO.

Dalla disamina della Carta e dal grafico dei punteggi della pianura (Figg. 4.43, 4.44) si nota che il 92.28 % del territorio ricade nel punteggio 10 e che valori da 9 a 8 sono rappresentati per il 4.0 % e l' 1.3 % rispettivamente. I punteggi più bassi, relativi alle aree con maggiore acclività si individuano presso le zone prospicienti il terrazzo del Tagliamento e lungo i bordi dei rilievi.

	%		gradi	
10	0	2.5	0	1.43
9	2.5	4.5	1.43	2.58
8	4.5	6.5	2.58	3.72
7	6.5	9.5	3.72	5.43
6	9.5	12.5	5.43	7.13



5	12.5	15.5	7.13	8.81
4	15.5	18.5	8.81	10.48
3	18.5	21.5	10.48	12.31
2	21.5	25.5	12.31	14.31
1	>25.5		>14.31	

Per quanto riguarda il campo di Osoppo e Gemona, le variazioni di acclività legate alla presenza dei colli isolati e alla vicinanza al settore montano, fanno sì che il punteggio 10 sia sempre molto rappresentato, con il 83%, valore percentuale comunque inferiore a quello riscontrato nella Pianura.

4.11 I Pesì

In modo da dare il giusto peso ai parametri precedentemente esaminati si sono definite, sempre seguendo il protocollo SINTACS, le aree a diverso impatto (Figg. 4.45, 4.46).

L'areale preso in considerazione subisce tre tipologie di impatto, due limitate ed una generale. Si può infatti riconoscere un areale a "impatto normale" inferiore all'1 % del territorio della pianura friulana nella zona in prossimità delle vallecòle confinate dai rilievi a est dell'Anfitetro morenico.

Un areale a "drenaggio", che si riconosce in corrispondenza dei letti dei principali corsi d'acqua ovvero del Tagliamento e del Torre nell'Alta pianura friulana, interessa il 4 % del territorio. Il rimanente vasto areale conglobante quasi tutta la pianura, è ritenuto ad "impatto rilevante", sottoposto, come è, o a forte urbanizzazione o all'utilizzo agricolo.

Nel Campo di Osoppo e Gemona si riconoscono invece solamente due tipi di impatto; uno, che coinvolge appena il 3 % del territorio, è quello "normale" in prossimità dell'asta del Tagliamento, mentre la quasi totalità dell'area viene identificata ad "impatto rilevante" visto l'elevato utilizzo agricolo e/o industriale della piana.

4.12 La Carta della Vulnerabilità

La *vulnerabilità intrinseca* rappresenta la suscettibilità specifica dei sistemi



acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche e idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un contaminante fluido o idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo.

In questo sistema la vulnerabilità viene intesa come verticale e non si considera lo spostamento orizzontale del contaminante: in un certo senso quindi la sua definizione si deve considerare preventiva ai fini della pianificazione territoriale.

Sulla base di quanto esplicitato nei paragrafi precedenti, la Carta della Vulnerabilità Intrinseca, definita in celle di 250 x 250 m, è stata elaborata moltiplicando le 7 carte parametriche per la carta dei pesi.

Dalla disamina della Carta della Vulnerabilità Intrinseca (riportata in allegato in due fogli, uno relativo la fascia settentrionale della Provincia, uno quella meridionale, e nelle Figg. 4.47, 4.48) si evidenzia la differenza tra l'Alta e la Bassa pianura: la prima, che contiene una falda freatica, con classi di vulnerabilità mediamente elevate, la seconda, che contiene falde artesiane, con classi di vulnerabilità basse.

Zone ad Elevatissima (Ee) ed Elevata (E) vulnerabilità si trovano solo nell'Alta pianura: la vulnerabilità Elevatissima interessa la zona limitrofa all'asta del Tagliamento e copre poco più dell' 1 % del territorio.

La vulnerabilità Elevata interessa una fascia a nord della Linea delle risorgive, una fascia limitrofa all'asta del Torre ed una posta in prossimità dei rilievi, coinvolgendo complessivamente circa l' 8 % del territorio.

La zona ad Altissima vulnerabilità (Aa) interessa essenzialmente la parte centro meridionale dell'Alta pianura, coinvolgendo il 18 % del territorio.

La classe ad Alta vulnerabilità (A) è certamente quella più diffusa: caratterizza le aree a monte ed a valle della Linea delle risorgive ed interessa il 44 % dell'intera pianura.

La classe a vulnerabilità Medio alta (Mm) interessa soprattutto la Bassa pianura oltre che la fascia che delimitata l'Alta pianura dall'Anfiteatro morenico e copre il 24 % dell'areale di pianura.



La classe a vulnerabilità Medio bassa (M) interessa porzioni della Bassa pianura prospicienti la zona lagunare coprendo il 4 % della pianura.

Piccole celle a vulnerabilità Bassa (B) si rinvencono all'interno di areali a Medio bassa vulnerabilità non coinvolgendo meno dell' 1 % del territorio.

Nel Campo di Osoppo e Gemona non si rinviene la classe di vulnerabilità Elevatissima: comunque le classi di vulnerabilità da Elevata ad Alta coinvolgono quasi il 90 % dell'intera piana.

La zona ad Elevata vulnerabilità coinvolge per lo più il settore prospiciente l'asta del fiume Tagliamento ed in particolare quello più prossimo alla Linea delle risorgive.

Le classi di vulnerabilità media interessano essenzialmente la zona a SE della piana.

il responsabile scientifico
prof. Franco Cucchi

il Direttore del DiSGAM
prof. Antonio Brambati

Trieste, 3 aprile 2003