



Circondario Val di Cornia
Provincia di Livorno

Ufficio Urbanistica Comprensoriale

Piano Strutturale d'area

della Val di Cornia

Comuni di Campiglia M.ma Piombino Suvereto

L.R.T. n°1 del 03.01.2005

RELAZIONE GEOLOGICA

I tecnici incaricati:

Dott. Geol.
Alessandro Spinicci

Dott. Geol.
Alberto Frullini

Dott. Geol.
Roberto Sinatti

Marzo 2006



INDICE DEL CONTENUTO

1	INTRODUZIONE METODOLOGICA	3
2	CARTA GEOLOGICA	9
2.1	Schema tettonico	9
2.2	Stratigrafie	11
3	CARTA GEOMORFOLOGICA	20
3.1	Forme, processi e depositi di versante	21
3.2	Forme, processi e depositi di fluviali	23
3.3	Forme e processi antropici	24
4	LA BONIFICA	25
5	DATI DI BASE	30
5.1	Analisi statistiche dei dati	32
6	CARTA DELL'ACCLIVITÀ	36
7	LITOSTRATIGRAFIA DI PIANURA	40
8	IDROGEOLOGIA	45
8.1	Unità idrogeologica non di interesse idropotabile	47
8.1.1	Calcari dei Monti di Campiglia (Sistema idrotermale di Campiglia)	47
8.2	Unità idrogeologica di interesse idropotabile	49
8.2.1	L'acquifero multistrato della Pianura del Cornia	49
8.3	Evoluzione piezometrica	51
8.4	Bilancio idrogeologico	53
8.5	Stress idrogeologico	60
9	CARTA LITOTECNICA	63
10	LA SUBSIDENZA	66
11	IL MODELLO SINTACS	73
11.1	Soggiacenza	75
11.2	Infiltrazione efficace	76
11.3	Non saturo (effetto di autodepurazione del)	77
11.4	Tipologia della copertura	78
11.5	Acquifero (caratteristiche idrogeologiche del)	79
11.6	Conducibilità idraulica dell'acquifero	80
11.7	Superficie topografica (acclività della)	80
11.8	considerazioni	81
12	LA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	81
13	LA PERICOLOSITA' IDRAULICA	83

<u>13.1 Zonazioni di pericolosità per fattori idraulici</u>	83
<u>14 TUTELA DELLA RISORSA IDRICA</u>	84
<u>14.1 Zonazioni di tutela della risorsa idrica</u>	84

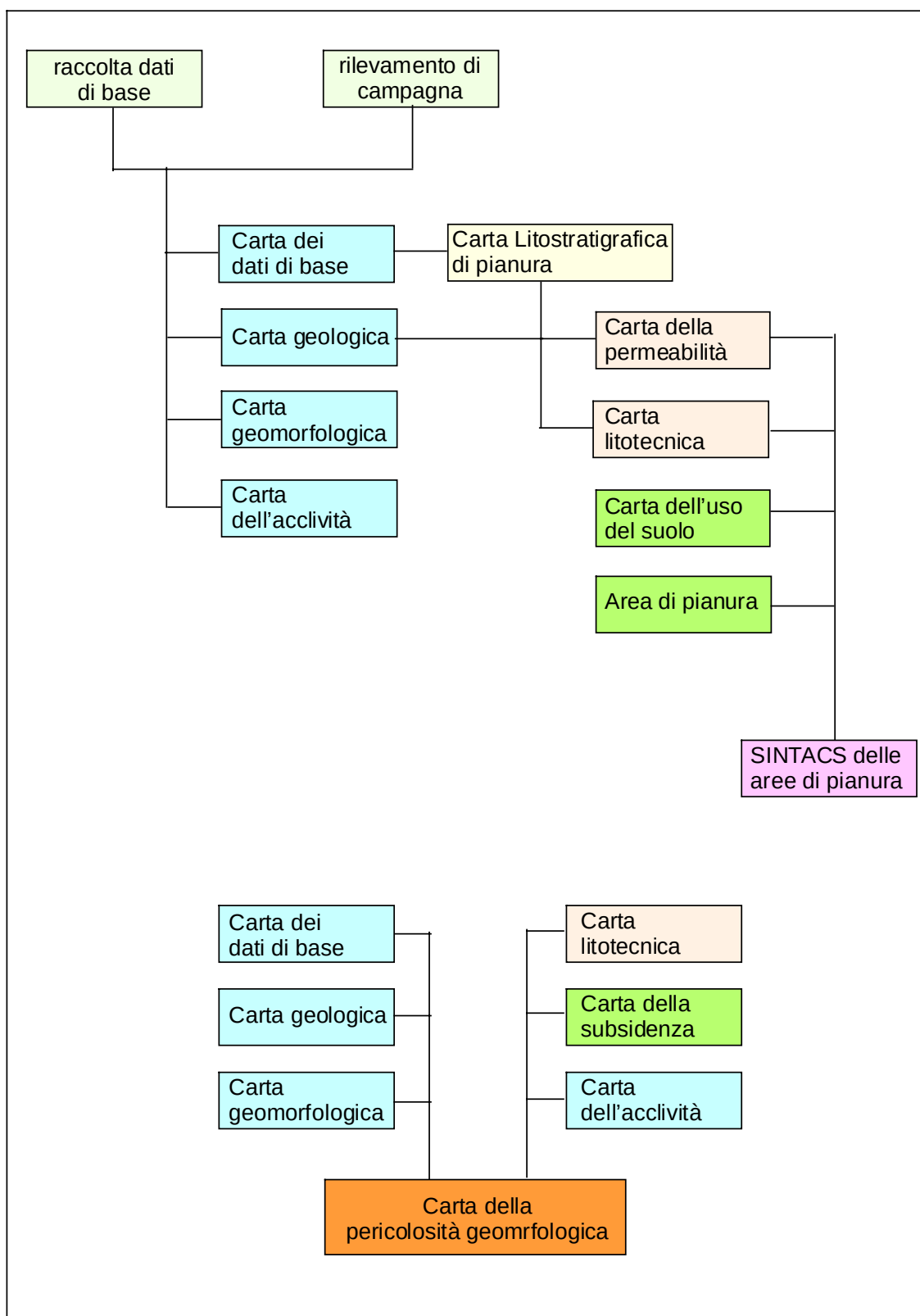
1

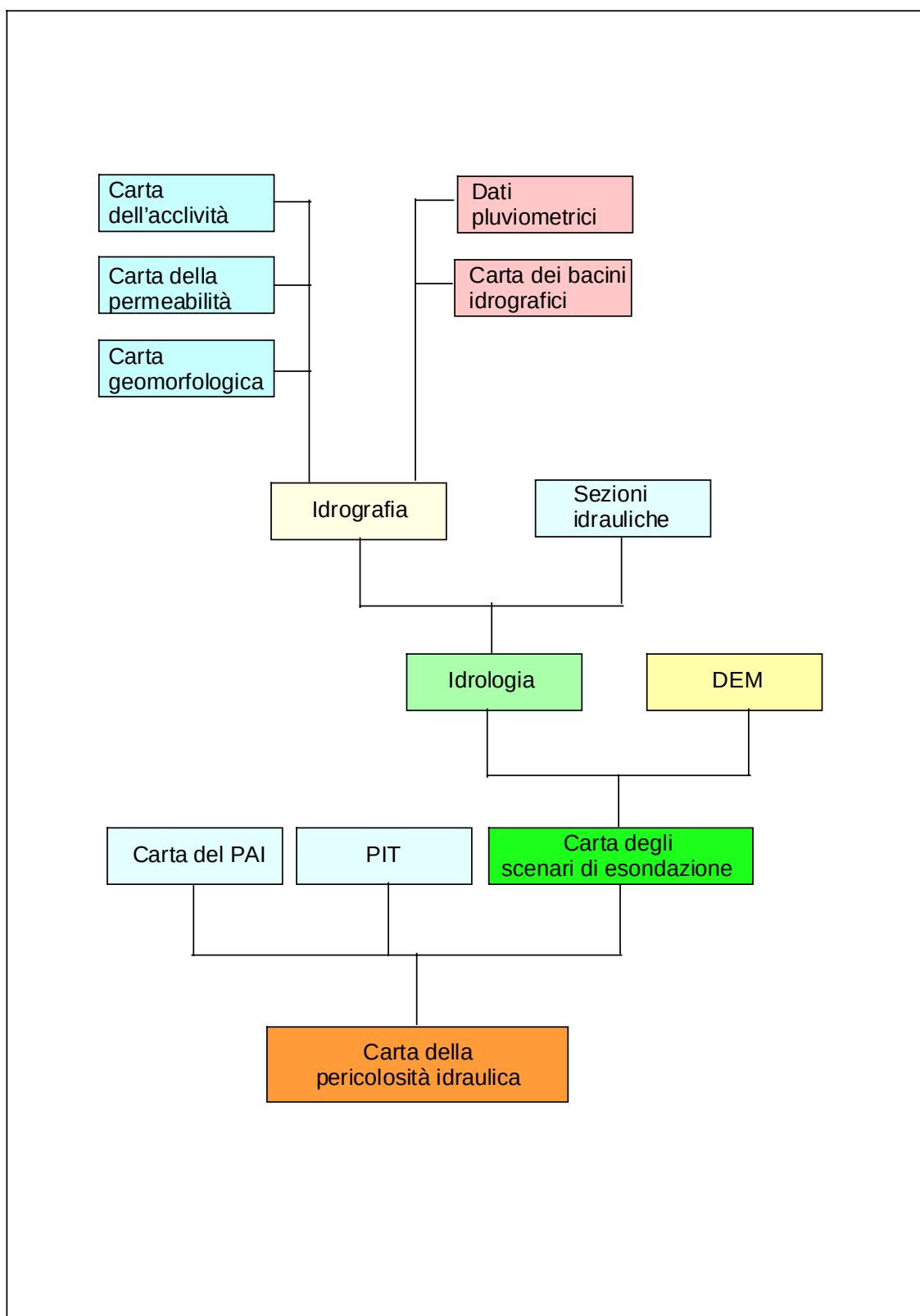
INTRODUZIONE METODOLOGICA

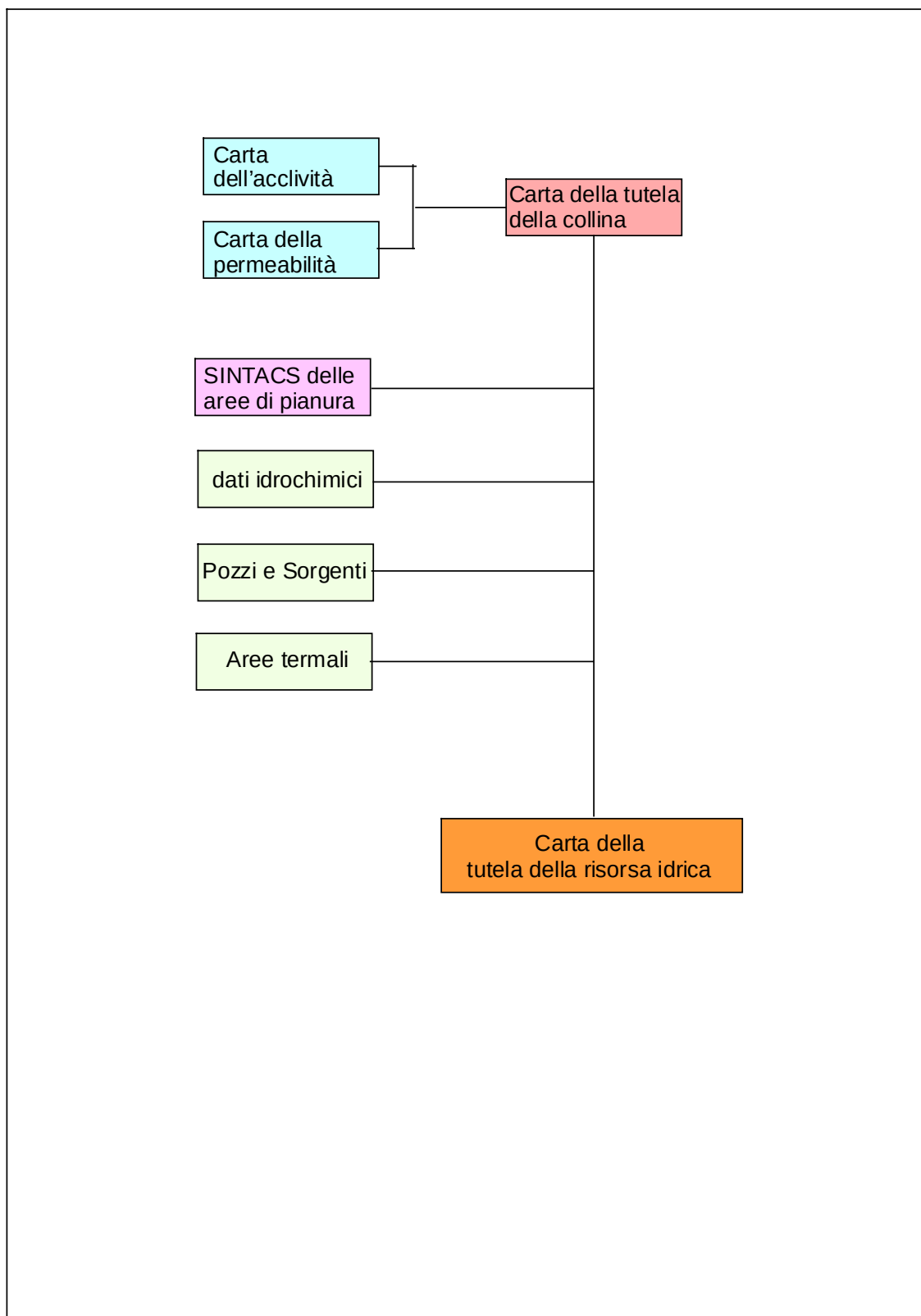
Il lavoro si è articolato in una prima fase di raccolta degli studi, delle ricerche e pubblicazioni scientifiche, geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, etc riguardanti il territorio comunale di competenza. Il quadro conoscitivo si è spinto oltre i limiti amministrativi in funzione dei tematismi affrontati, in modo da meglio comprendere e relazionare quegli elementi o quelle zone omogenee che l'analisi ha individuato nel territorio comunale. È stata pertanto effettuata una raccolta ed un'analisi ragionata dei materiali - dei quali alla relazione è allegata completa bibliografia - a cui ha fatto seguito l'analisi degli elaborati ufficiali del Comune riguardanti gli strumenti urbanistici e di pianificazione. Sono stati in particolare verificati gli studi specifici riguardanti particolari fenomeni di dissesto, emergenze geologiche e geomorfologiche, misure di salvaguardia, tutela e valorizzazione di risorse geo-ambientali e precisamente: analisi idrogeologiche, studi sull'erosione costiera, studi sulla subsidenza, indagini geognostiche.

A questa prima fase di raccolta dati è seguita la fase di rilevamento e successivamente di elaborazione dati. L'ultima fase è stata quella della rappresentazione cartografica e della redazione delle carte di sintesi.

A seguire si riportano tre diagrammi nei quali si evidenziano le fasi metodologiche ed operative per la redazione delle carte di sintesi.







2 CARTA GEOLOGICA

La Val di Cornia si inserisce nel contesto della Toscana Centrale e Costiera, caratterizzato dalla presenza di Unità Neogeniche Toscane impostate su un sistema tettonico complesso, in cui le Unità Liguri e Subliguri sormontano la Falda Toscana.

La zona risulta prossima alla Regione Boracifera di Larderello ed alle Colline Metallifere, sfruttate fin dal passato per la produzione di energia elettrica (energia geotermica) e l'estrazione di metalli, con forte condizionamento delle economie locali.

Anche in Val di Cornia sono note manifestazioni idrotermali, concentrate nell'intorno del plutone granodioritico di Botro ai Marmi, che hanno determinato la mineralizzazione della zona di Campiglia Marittima; anche in questa zona le attività estrattive hanno caratterizzato le attività economiche in epoche storiche, con numerosi siti e reperti oggi ripristinati dall'attività museale.

2.1 SCHEMA TETTONICO

Lo schema tettonico dell'area è ricostruito sulla base dei dati di superficie e di sottosuolo, raccolti dai numerosi studi che hanno interessato la zona, integrati con le conoscenze delle zone limitrofe.

L'assetto strutturale della Toscana Centro-Meridionale è dominato dalle deformazioni legate alla tettonica distensiva del Tirreno, che nel Neogene e nel Quaternario ha determinato il collasso e lo smembramento della catena nord-appenninica. Studi recenti sul Tirreno settentrionale e sui depositi epiliguri individuano l'inizio delle deformazioni distensive alla fine del Miocene Inferiore; a partire da tale momento sono stati distinti nella Toscana Meridionale due episodi distensivi.

Il primo evento, relativo ad periodo tra il Miocene Inferiore ed il Tortoniano Superiore, si è determinato un assottigliamento della crosta superiore, mediante faglie dirette a basso angolo e a geometria complessa: ne è derivata una situazione geometrica molto caratteristica, nota come “serie ridotta”, caratterizzata da rilevanti elisioni degli spessori della successione stratigrafica, con diretta sovrapposizione delle Unità Liguri sulla formazione anidritica triassica.

Il secondo evento, riferito all'intervallo tra il Tortoniano Superiore ed il Pleistocene Medio, è stato caratterizzato dallo sviluppo di faglie a geometria listrica, responsabili di un sistema di fosse tettoniche subparallele, allungate in direzione NO-SE, la cui apertura non è stata contemporanea, ma con una progressiva e graduale migrazione da occidente ad oriente.

La configurazione originaria dell'edificio a falde è rappresentabile attraverso l'impilamento di più unità tettoniche sovrapposte, secondo lo schema seguente:

- Unità Liguri
- Unità Subliguri
- Unità della Falda Toscana
- Unità di Monticiano-Roccastrada (“*Basamento Cristallino Toscano*”)
- Unità degli Gneiss (“*Basamento Metamorfico*”)

L'evoluzione sedimentaria neogenica-quadernaria è stata in gran parte condizionata dai movimenti verticali della crosta, indotti dalla tettonica distensiva post-collisionale, mentre mancano specifici riscontri circa gli effetti della ciclicità eustatica, spesso mascherati da quelli indotti dall'attività tettonica.

In particolare nell'area interessata dalle indagini di supporto al Piano Strutturale in oggetto è possibile distinguere una serie di situazioni geologiche caratteristiche del territorio:

- il Promontorio di Piombino è caratterizzato da rilevanti affioramenti di membri della Falda Toscana, anch'essi interessati dai movimenti tettonici, e da elementi Subliguri sovrastanti. Nella zona affiorano prevalentemente arenarie oligoceniche, quali il Macigno e le Arenarie di Suvereto, bordate da sedimenti sabbiosi quaternari (Sabbie di Val di Gori);
- nella zona di Campiglia affiora quello che è genericamente definito il “Massiccio Carbonatico”, che rappresenta una finestra tettonica con rilievi costituiti da membri mesozoici della Serie Toscana. In quest'area affiorano elementi vulcanici intrusivi, quali la Granodiorite di Botro ai Marmi e i vari Filoni Porfirici che interessano le successioni sedimentarie, con attuali manifestazioni idrotermali sfruttate per attività ricreative. Al margine della zona carbonatica si ritrovano gli elementi superiori del Dominio Toscano e, verso Ovest, si osserva l'impilamento delle diverse unità tettoniche, attraverso i contatti tettonici con le Unità Subliguri e quindi con quelle Liguri;
- sui rilievi a Sud-Ovest della valle del Cornia affiorano generalmente membri delle Unità Liguri, di natura prevalentemente flyshoide, con piccole finestre tettoniche in cui emergono gli elementi sepolti appartenenti alla Falda Toscana; le porzioni pedecollinari sono spesso costituite da depositi neogenici e quaternari, a loro volta incise ed erose dall'azione delle acque superficiali;
- l'ampia pianura compresa tra il Promontorio di Piombino ed i rilievi più interni rappresenta il punto di congiunzione tra la valle fluviale del Fiume Cornia e la zona retrodunale e palustre della campagna piombinese, bonificata nel corso del XIX secolo; tutt'oggi sono presenti aree umide ed altre in cui la regimazione idraulica è affidata a sistemi di sollevamento meccanico, poste a quote prossime al livello medio marino.

2.2 STRATIGRAFIE

Per la stesura della Carta Geologica (Tavola 4.2) sono state dapprima esaminate le informazioni contenute nei seguenti studi:

- indagini geologico-tecniche di supporto ai P.R.G. vigenti dei Comuni di Piombino, Campiglia M.ma e Suvereto;
- indagine a supporto della Variante per le Zone Agricole relativa ai 3 Comuni in oggetto;
- la Scienza della Terra nell'area della Provincia di Livorno a Sud del Fiume Cecina, Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, vol. 13, 1993;
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 redatta dal Servizio Geologico d'Italia, con sezioni in scala 1:10.000 (in fase di collaudo) inserite nella Carta Geologica Tecnica della Regione Toscana, con rilevamenti effettuati dai Dipartimenti di Scienze della Terra delle Università di Pisa e di Siena.

Qui di seguito sono descritte le stratigrafie delle Unità Tettoniche sopra enunciate, procedendo dalle Unità geometricamente più profonde fino a quelle più elevate.

Unità degli Gneiss (“Basamento Metamorfico”)

Questa Unità non compare mai in affioramento nella Toscana Costiera e Meridionale, poichè è stata individuata attraverso alcuni sondaggi profondi dell'ENEL nei campi geotermici di Larderello nei quali sono stati rinvenuti diversi litotipi (gneiss e paragneiss).

Unità di Monticiano-Roccastrada (“Basamento Cristallino Toscano”)

Anche questa Unità non compare in affioramento nel territorio interessato da questo studio e la sua posizione strutturale è stata ricostruita a partire dalle informazioni provenienti dalle zone più interne.

Si tratta di formazioni interessate da metamorfismo che va dal basso grado al medio grado e le alcune delle conoscenze disponibili sono riferite ai dati delle perforazioni profonde dell'ENEL. In particolare il Complesso dei Micascisti (Paleozoico) non viene mai rinvenuto in superficie, mentre il Complesso delle Filladi (Paleozoico-Trias) ed il Complesso del Verrucano (Triassico medio) sono noti sia per i dati di sottosuolo che di superficie. I rapporti strutturali con gli elementi superiori (Falda Toscana) sono stati estesi anche alla zona della Val di Cornia, nella quale simili informazioni non sono ad oggi disponibili

Falda Toscana

Calcare cavernoso (CCA) (Carnico-Norico sup.). Non affiorante nell'area in esame. I dati disponibili per le aree limitrofe testimoniano spessori assai variabili (da poche decine di metri fino ad oltre 700 m).

Calcari e Marne a Rhaetavícula contorta (RET) (Retico). Affiorano prevalentemente nella zona di Botro ai Marmi e nella finestra tettonica di Poggio Castellaccia, nei pressi di Montioni. Sono rappresentati principalmente da calcari e calcari marnosi stratificati (con spessori dai 30 ai 70 cm) di colore grigio associati a marne aventi spessori di circa 40 cm. Il passaggio alla formazione superiore avviene attraverso un contatto stratigrafico continuo.

Calcare Massiccio (MAS) (Hettangiano-Sinemuriano p.p.). Affiora diffusamente nella zona del “Massiccio Carbonatico” di Campiglia, nell'area del Monte Peloso e nelle finestre tettoniche della zona di Montioni. E' costituito da calcari bianchi o grigio chiaro, privi di stratificazione, con locali variazioni solo in corrispondenza dei contatti stratigrafici con le formazioni inferiori e superiori. Lo spessore risulta variabile (da poche decine di metri fino a più di 200) ed il passaggio al Rosso Ammonitico avviene per alternanze.

Rosso Ammonitico (RSA) (Sinemuriano p.p.-Pliensbachiano). Anch'esso affiora nella zona carbonatica di Campiglia ed è caratterizzato da calcari, talvolta marnosi, stratificati di colore dal rosato al rosso cupo. La stratificazione appare evidente, con spessori variabili fino ad 80 cm, con intercalati sottili livelli argillitici; in alcune zone sono presenti liste di selce rosate. Lo spessore complessivo risulta dell'ordine di 30-50 m e, superiormente, passa per contatto stratigrafico sia al Calcare Selcifero, sia alle Marne a Posidonomya, presentando con entrambe le formazioni anche rapporti di eteropia.

Calcare Selcifero (cfr. Calcare Selcifero di Limano) (LIM)(Lias medio-sup.) Si ritrova principalmente nella zona di Monte Calvi e, in maniera ridotta, nella zona di Montioni. Si tratta di calcari grigi, a grana fine, con stratificazione abbastanza regolare (con spessori di circa 40 cm), con caratteristici noduli e liste di selce grigi o neri. Laddove presente (per cause tettoniche è assente in alcune successioni) gli spessori non superano i 40 m e passa agli elementi superiori (Marne a Posidonomya e Diaspri) con contatti stratigrafici graduali e sfumati.

Marne a Posidonomya (MPO) (Dogger). Presente nella zona con affioramenti ridotti, questa formazione affiora nella zona di Monte Calvi ed in quella di Montioni. Si tratta di marne e calcari marnosi, talvolta silicizzati, con spessori complessivi che raramente raggiungono i 30 m. Nella parte superiore passano stratigraficamente ai Diaspri.

Diaspri (DSD) (Malm). Sono rappresentati da sottili livelli di radiolariti e selci di colore rossastro, con minute intercalazioni siltitiche, dallo spessore variabile (30-100 m). Affiorano nella zona di Campiglia, a Monte Peloso e nella zona di Montioni.

Maiolica (MAI) (Titonico sup.-Creatceo inf.). E' presente in affioramenti ridotti, rappresentata da calcari bianchi, a grana finissima, in strati di 30-50 cm, con rari noduli o liste di selce, limitatamente alla zona carbonatica di Campiglia M.ma.

Scaglia Toscana (STO) (Cretaceo sup.-Eocene Sup./Oligocene inf.). Argille rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, di marne rosse e calcareniti. Dove cartografabili sono state individuate le seguenti litofacies:

Litofacies pelitica (BRL – Formazione di Brolio), costituite da argilliti policrome, prevalentemente rosse con intercalazioni di calcilutiti grigio-verdastre in strati medi. Presentano foliazione pervasiva e spaziatura millimetrica subparallela alla stratificazione.

Litofacies calcarea (BRL1), rappresentata da calcari grigio chiari, localmente con liste o noduli di selce, in strati medi con interstrati pelitici grigi.

Macigno (MAC) (Oligocene sup.-Miocene inf.). Arenarie quarzoso-feldspatiche a granulometria variabile da grossolana a fine, in strati medi e spessi, e in banchi, gradati, di colore grigio o giallastro per alterazione, con interstrati di argilliti grigio scure.

Unità Subliguri

Scisti di Calamoresca (SCM) Argilloscisti e marnoscisti di colore grigio e verde, con intercalazioni di calcilutiti silicee e calcilutiti in strati decimetrici.

Argille e Calcari di Canetolo (ACC) (Eocene medio-Eocene Sup.). Argilliti e argilloscisti neri, giallastri per alterazione, cui si intercalano calcilutiti, calcareniti e calcari marnosi in strati discontinui per cause tettoniche (boudinage).

Formazione di Salivoli-Piombino (FSP) (Eocene). Alternanze di sequenze argilloso-calcaree e sequenze torbiditiche arenaceo-marnose; frequenti livelli di arenarie grossolane mal cementate ad abbondante matrice (grovacche litiche) e presenza di orizzonti di conglomerati minuti in strati mal cementati.

Arenarie di Suvereto (ASU) (Oligocene-Miocene Inf.). Arenarie quarzoso-feldspatiche prevalentemente a granulometria medio-fine in strati medi e subordinatamente in strati spessi e in banchi, gradati, a granulometria grossolana di colore grigio, giallastro per alterazione, con interstrati pelitici grigio scuri. E' presente anche una litofacies marnosa (ASUa) costituita da marne siltose grigie, massive a foliazione pervasiva, con sequenze siltoso-pelitiche a stratificazione molto sottile.

Unità Liguri

Basalti (b) (Giurassico Sup.). Basalti massicci ed a pillow, a struttura variolitica.

Formazione di Sillano (cfr. Formazione di Antignano) (SIL) (Cretaceo Sup.). Argilliti e argilloscisti di colore variabile dal nero al grigio scuro, rosso vinaccia e verdastro. In subordine sono presenti calcari e calcari marnosi in strati lenticolari per cause tettoniche (boudinage) di colore grigio chiaro e nocciola.

Flysch di Monte Morello (cfr. Flysch di Poggio San Quirico) (MLL) (Paleocene Sup.-Eocene medio). Calcari marnosi e marne in strati da medi a spessi e in banchi, a base calcarenitica, di colore da grigio-chiaro a biancastro con interstrati di peliti marnose e argillose di colore nocciola, grigio scuro e verdastro.

Argilliti a Pithonella (SPT) (Cenomaniano-Turoniano Inf.). Argilliti e siltiti grigio-verdastre con rare intercalazioni di strati di calcilutiti e calcari marnosi.

Flysch di Monteverdi (cfr. Flysch di Monte Caio) (CAO) (Campaniano Sup.-Maastrichtiano). Sequenze torbiditiche costruite da strati e banchi di calcari marnosi e marne a base calcarenitica di colore grigio scuro, grigio chiare per alterazione, con interstrati pelitici scuri.

Calcari a Calpionelle (CCL) (Cretaceo Inf., Berriasiano-Valanginiano). Calcari a grana finissima di colore grigio e nocciola, in strati da medi a molto spessi. Analoghi ai Calcari di Fanale di Rocchetta (CFR), rappresentati da calcari e calcari marnosi grigio-chiari con rare selci nere e localmente con sottili interstrati pelitici.

Argille a Palombini (APA) (Cretaceo inf., Aptiano p.p.-Cenomaniano p.p). Argilliti e siltiti grigie, spesse, a cui si intercalano, subordinatamente, calcari silicei grigio piombo. E' presente un membro pelitico-arenaceo del Torrente Carsia (APA2), costituito da argilliti e siltiti grigio-verdi a cui si intercalano subordinatamente arenarie da medie a fini.

Successione Neogenica Toscana

Argille della Marsiliana (AMS) (Messiniano Inf.-Messiniano Sup.). In quest'area tale formazione è rappresentata dal membro dei Calcari di Fornacelle (AMSe) e dai Calcari di Castelnuovo (ROS5).

Conglomerati di Montebamboli (BAM) (Messiniano Sup.). Conglomerati non classati di colore rosso-arancio, con ciottoli di calcari silicei, arenaria diaspri, arenarie quarzoso feldspatiche (Macigno) immersi in matrice sabbioso-calcareo prevalente. Sono presenti anche 2 membri minori, rappresentati da lenti argillose (BAMe) e da conglomerati grigi (BAMc).

Sabbie di San Vivaldo (SVV) (Pliocene inf., Zancleano). Sabbie e sabbie argillose giallo-arancio, localmente stratificate a grana perlopiù medio-grossolana, con livelli ricchi di resti di Gasteropodi, Lamellibranchi ed Echinidi.

Argille di Casa Ghiaccino (GHI) (Plio-Pleistocene). Argille di colore giallo con areniti calcaree e travertini (GHI_t), perlopiù in facies fitoclastica.

Conglomerati di Podere San Luigi (PSL) (Pleistocene medio). Conglomerati clasto-sostenuti con scarsa matrice sabbiosa, di colore giallo.

Panchina (pn) (Pleistocene medio-superiore). Calcareniti di aspetto massivo, localmente organizzate in livelli da decimetrici a centimetrici ad andamento piano parallelo o incrociato planare e concavo, con sottili intercalazioni di calcari friabili nelle Sabbie di Val di Gori.

Conglomerati di Fosso Bufalone (QMCc) (Pleistocene Sup.). Conglomerati monogenici ben cementati ad elementi di calcare massiccio e ghiari poligeniche a matrice siltosa, arrossata.

Sabbie di Val di Gori e Sabbie di Donoratico (SVG) (Pleistocene medio-sup.). Sabbie da fini a medie, massive, di colore da rosso vivo a rosso arancio a matrice siltosa.

Arenarie di San Vincenzo-Punta del Mulino (OAS) (Olocene).

Depositi quaternari

Depositi alluvionali recenti ed attuali (b). Sono presenti nei fondovalle di tutti i corsi d'acqua e consistono prevalentemente in argille, limi e sabbie, con presenza di ghiaie nelle aree più interne della valle del Fiume Cornia. La porzione più ampia della pianura alluvionale del Fiume Cornia è caratterizzata da depositi argillosi, con presenza di rilevanti spessori di sedimenti fini e scarsamente compattati.

Coltri detritiche e depositi da processi geomorfologici recenti. Sono costituite da ammassi di materiale di varia compattezza, derivanti da processi geomorfologici recenti e/o in atto: nella parte collinare risultano prevalenti i depositi di versante e le coperture detritiche, nella parte di pianura appaiono rilevanti i depositi lacustri e palustri

(zone di bonifica) mentre nella porzione costiera risultano principali i depositi connessi all'attività del mare e del vento.

Depositi antropici. Sono costituiti da ammassi di terreno riportato per azione umana, sia in seguito ad urbanizzazioni, sia ad utilizzi storici del territorio, come verificato in prossimità di antiche miniere. Sono altresì presenti discariche civili e di inerti, nonché scarti dell'attività di coltivazione delle cave.

3 CARTA GEOMORFOLOGICA

Sulla base dell'insieme dei dati a disposizione si è proceduto ad un attento lavoro di controllo dei fenomeni evolutivi che caratterizzano il territorio. Lo studio di dettaglio ha permesso di concludere come l'area di studio sia caratterizzata da cinque forme di paesaggio predominante, riconducibili alle diverse caratteristiche litologiche dei terreni che costituiscono il substrato (Tavola 4.3):

- a) *forme influenzate dalla struttura in rocce massive*
- b) *forme influenzate dalla struttura in rocce carbonatiche*
- c) *forme influenzate dalla struttura in rocce stratificate*
- d) *aree di pianura alluvionale*

Forme influenzate dalla struttura in rocce massive

Caratterizzano porzioni limitate del territorio analizzato, laddove affiorano estesamente rocce appartenenti al complesso ofiolitico quali serpentiniti, gabbri e basalti. Queste rocce mostrano generalmente una struttura massiccia e pertanto danno origine a forme accidentate, caratterizzate da ripidi versanti. I fenomeni di dissesto, quando presenti, sono comunque di estensione limitata.

Forme influenzate dalla struttura in rocce carbonatiche

Sono presenti principalmente nella zona di Campiglia M.ma, in un'area caratterizzata dalla presenza di vasti affioramenti carbonatici relativi ai depositi mesozoici della Falda Toscana. La natura lapidea dei litotipi conferisce al paesaggio forme ben definite, con versanti ad elevata pendenza, in cui i dissesti sono perlopiù limitati alla coltre superficiale alterata.

Forme influenzate dalla struttura in rocce stratificate

Sono diffuse prevalentemente nel settore orientale e meridionale, in corrispondenza degli affioramenti dei membri appartenenti alle Unità Liguri, Subliguri ed a quelli non carbonatici della Falda Toscana. La maggiore erodibilità di queste rocce, appartenenti in prevalenza a formazioni tipo flysch a litologia calcareo-marnoso-arenacea, con elementi a forte componente argillosa, conferisce ai rilievi forme meno accidentate, con inclinazione dei versanti in genere modeste (20-30°). La stabilità dei versanti, trattandosi generalmente di formazioni stratificate con intercalazioni argillitiche, è influenzata dalla giacitura degli strati, se a reggipoggio oppure a franapoggio.

Aree di pianura alluvionale

Rappresentano un'ampia porzione di territorio, principalmente localizzate in corrispondenza della valle del Fiume Cornia. In queste zone prevalgono i sedimenti fini, argillosi, scarsamente compattati, che in prossimità della costa marina presentano ampie fasce palustri e lacuali. La bonifica dell'area ha parzialmente obliterato l'assetto originario dei luoghi, ricostruibile attraverso analisi geomorfologiche ed agronomiche di dettaglio, nonché attraverso l'analisi dei dati geognostici disponibili sul territorio. La porzione più interna della valle del Cornia risulta invece caratterizzata da ampi depositi di sabbie e ghiaie, a testimonianza della maggiore energia del corso d'acqua.

3.1 FORME, PROCESSI E DEPOSITI DI VERSANTE

Un elemento determinante nella formazione del paesaggio è determinato dalla gravità e le principali forme di evoluzione gravitativa sono rappresentate dalle frane, dalle falde detritiche, dai flussi incanalati.

Le Frane

In ragione della fragilità geologica e litotecnica la presenza di fenomeni franosi fa parte delle caratteristiche del territorio e numerose sono le porzioni di territorio interessate. Per quanto riguarda lo stato di attività, le forme ed i processi franosi cartografati sono stati

distinti in **attivi, quiescenti e stabilizzati (o paleofrane)**. Per quanto riguarda l'ubicazione dei fenomeni franosi, questi sono omogeneamente distribuiti nel territorio a testimonianza di una comune fragilità morfologica. Questi fenomeni si impostano in preferenza sulle testate degli impluvi e dei corsi d'acqua in quanto in queste aree il fenomeno di arretramento morfologico è più attivo; tuttavia a causa del progressivo approfondimento ed erosione dei corsi d'acqua, provocato dai cambiamenti climatici e dal cambiamento nella gestione antropica del territorio di questi anni, anche i fianchi delle valli sono frequentemente interessati da frane.

Tra le frane attive, in considerazione della presenza nei terreni argillosi di frequenti intercalazioni sabbiose, sono prevalenti le tipologie di frana per scivolamento.

Molto frequenti sul territorio sono le frane quiescenti che costituiscono le forme ed i fenomeni in stasi che non avendo esaurito la loro evoluzione possono riattivarsi soprattutto a seguito di interventi antropici di modifica dell'equilibrio raggiunto oppure possono riattivarsi in quadri morfoclimatici o condizioni climatiche diverse da quelle attuali od eccezionali.

Infine le paleofrane sono presenti in quantità molto minore rispetto alle altre, solitamente sono legate a vasti fenomeni che comprendono anche grandi impluvi e ampie zone. Talvolta, le paleofrane sono ancora in evoluzione nella parte più elevata con fenomeni di arretramento; questo si manifesta solitamente alle testate dei fossi e dei corsi d'acqua che continuano ad arretrare nella loro evoluzione morfologica.

Coltri detritiche

Al margine dei principali rilievi, sono frequenti le coperture di detrito di versante a causa proprio dell'evoluzione morfologica che il territorio presenta.

Questi depositi colluviali sono diffusamente estesi sul territorio del Val di Cornia, a causa dell'elevata erodibilità di molte delle litologie affioranti, con messa in posto di corpi detritici caratterizzati da elementi lapidei di dimensioni pluricentriche. Relativamente a quelle cartografate in corrispondenza degli elementi arenacei, la granulometria di questo deposito varia da limi a sabbie, mentre a margine dei membri argillitici prevalgono depositi fini.

L'elevata energia del territorio nel promontorio di Piombino dà luogo alla formazione di depositi incanalati

3.2 *FORME, PROCESSI E DEPOSITI DI FLUVIALI*

Reticolo idrografico

Il reticolo idrografico della zona presenta una distribuzione delle direzioni di deflusso abbastanza caotica nelle aree collinari, per poi acquistare una discreta omogeneità nelle zone di pianura. Infatti, mentre lungo i rilievi non si osservano direttrici preferenziali, la zona di fondovalle è caratterizzata da corsi d'acqua con orientazione prevalente NE-SW (pressoché paralleli al Fiume Cornia).

Depositi alluvionali attuali, depositi palustri

La presenza di una vasta pianura fluviale, solcata da un fiume principale e da una serie di corsi minori, ha dato luogo alla sedimentazione di una spessa coltre alluvionale dalle caratteristiche assai variabili, con frequenti eteropie verticali e laterali.

Come ricostruito attraverso l'analisi dei dati geognostici a disposizione, la zona di pianura presenta caratteristiche diverse tra la zona più interna e quella costiera; la porzione più elevata della valle del Fiume Cornia presenta depositi ghiaioso-sabbiosi, a testimonianza della maggiore energia del corso d'acqua che permette il trasporto di materiale più grossolano, mentre nella zona più distale sono presenti depositi fini (prevalentemente argille scarsamente compattate) e sedimenti palustri, tipici di zone dunali e retrodunali.

Forme e processi marini

Il territorio costiero presenta zone di costa alta, ubicate in corrispondenza del promontorio di Piombino, e coste basse, nelle zone del golfo di Baratti a Nord, e del golfo di Follonica, a Sud.

Le forme ed i processi che interessano le distinte zone costiere risultano assai diversi: la costa alta presenta falesie con versanti ad elevata pendenza, esposti all'azione del mare e del vento. In queste zone i dissesti principali sono costituiti da frane di crollo (per le porzioni più basse), spesso seguite da frane di scivolamento o complesse che interessano le zone poste a quote più elevate (a causa dello scalzamento al piede causato dalle frane di crollo).

Le coste basse, invece, risultano interessate da evidenti e diffusi processi di erosione (si vedano i recenti studi meteo-marini condotti a proposito), con limitate zone in cui il fenomeno appare ridotto o dove, addirittura, avviene un avanzamento della linea di riva. I tassi di arretramento registrati raggiungono il valore di 1.2 cm/anno nei settori di mare prossimi al porto di Piombino.

Le coste basse risultano interessate anche dall'azione eolica, con ripercussioni sul sistema dunale associato: attualmente la zona dunale risulta assai contenuta, limitata dall'azione antropica che ha condotto prima all'utilizzo agricolo del territorio e successivamente alla realizzazione di infrastrutture che impediscono i naturali processi geomorfologici.

3.3 *FORME E PROCESSI ANTROPICI*

Rappresentano le trasformazioni del territorio effettuate dall'attività umana, concentrate prevalentemente nella periodo storico più recente. Sebbene nella zona siano note aree interessate da depositi derivanti da attività minerarie antiche, sono prevalenti le modifiche introdotte a seguito di urbanizzazioni, realizzazioni di infrastrutture viarie nonché per lo stoccaggio di materiali di scarto (discariche). Le aree interessate dai centri abitati e dalle zone industriali risultano modificate profondamente, con oblitterazione del sistema idraulico minore, sostituito dalla pubblica fognatura, e frequenti modifiche alla morfologia dei luoghi.

4 LA BONIFICA

La Val di Cornia è stata oggetto, in tempi storici, di una importante azione di bonifica che a partire da 1828 porterà all'attuale assetto morfologico ed idraulico. In effetti il 27 Novembre del 1828, con la promulgazione del Motu Prorio, il Granduca di Toscana dette avvio ai lavori di bonifica della Maremma Grossetana.

Lo scopo principale delle opere di bonifica era quello di recuperare all'agricoltura e all'industria una vasta area del Granducato, resa inabitabile, e quindi non sfruttabile economicamente, dai paduli e dalla malaria.

La situazione in cui si trovava la pianura prima della bonifica era veramente grave, ai paduli, che coprivano circa 1500 ettari di terreno, si aggiungevano le zone di campagna degradate e impaludate per la cattiva manutenzione dei corsi d'acqua naturali ed artificiali.

Il padule più grande era quello di Piombino originatosi per interrimento ad opera del Cornia della laguna retrostante il tombolo marino.

In figura 1 è riportata la situazione all'anno 1836 nella quale sono visibili il Padule di Piombino, lo Stagno di Rimigliano e alcuni piccoli lembi di paduli sparsi nella pianura i quali rendono l'idea della scarsa manutenzione dell'area (lo Stagno di Montegemoli e della Striscia).

Inoltre si nota come il Fiume Cornia sfoci direttamente nel Padule di Piombino il quale comunica al mare attraverso l'apertura di Punta Capezzolo (attuale Terre Rosse).

Nell'anno 1830-31 si compiono le prime opere di sistemazione arginale del Cornia con il raddrizzamento e la riarginatura del tratto a valle della Via Emilia (attuale Aurelia).

La bonifica avviene sia per colmata che per prosciugamento: il padule di Piombino e quello minore di Torre Mozza furono colmati, il Lago di Rimigliano fu prosciugato.

La colmata del Padule di Piombino ebbe inizio nel 1832 con la chiusura dello sbocco a mare del Puntone e l'area fu suddivisa in due parti per facilitare le operazioni di colmamento ad opera del fiume Cornia (Padule di Montegemoli e Padule di Piombino in s.s.).



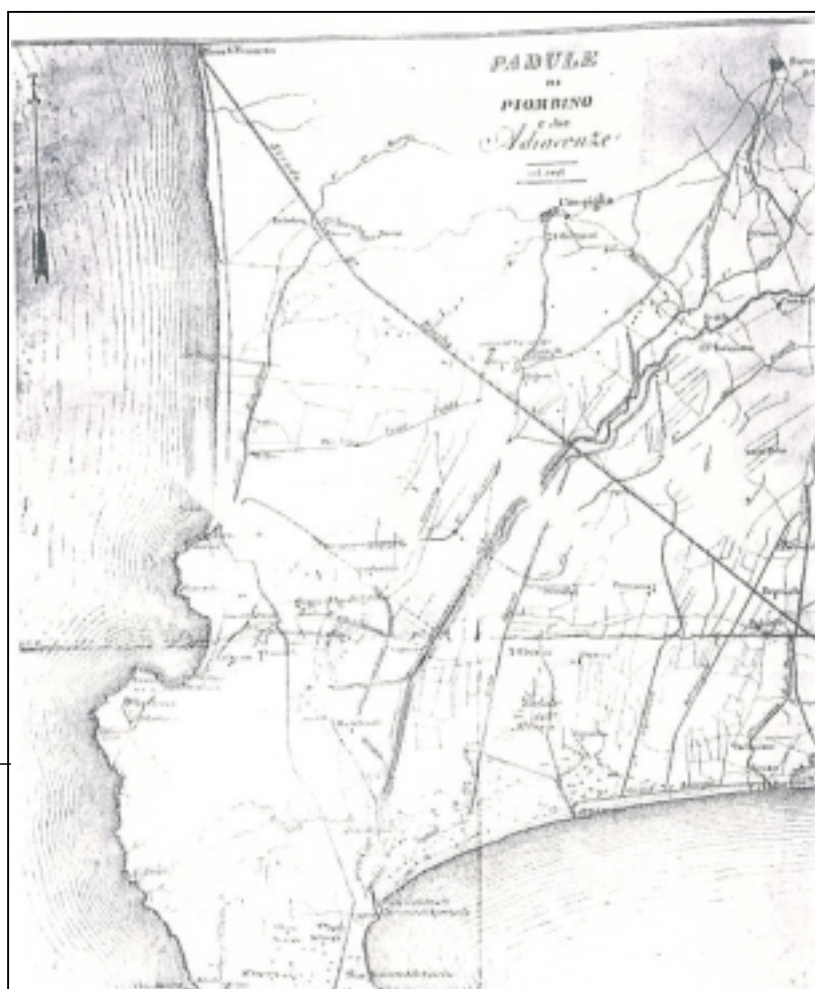
Fig. 1 – Pianura del Cornia anno 1830

Piano Strutturale della Val di Cornia

Relazione Geologica

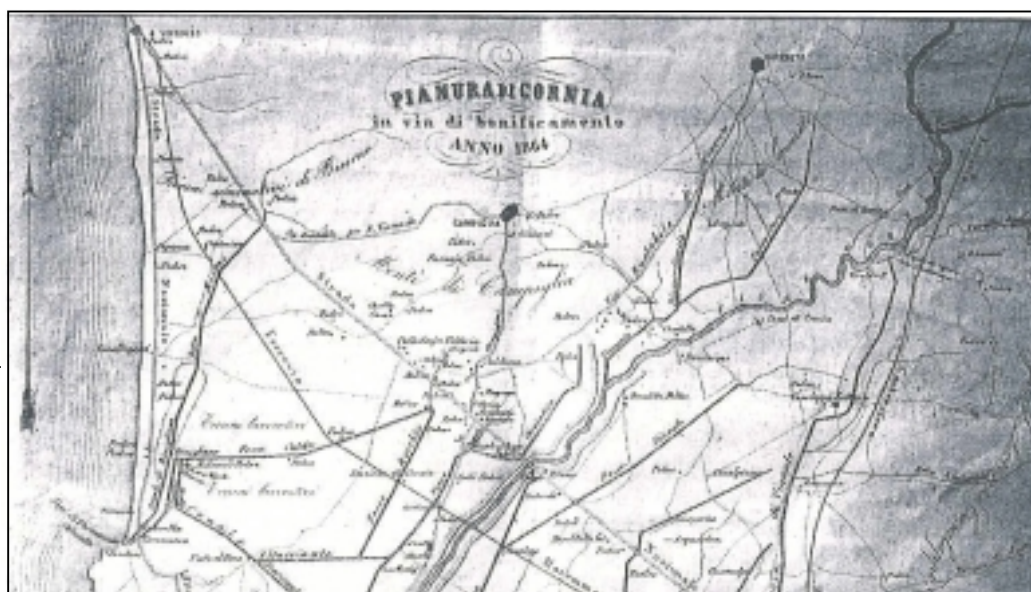
La colmata del Padule di Montegemoli fu terminata nell'anno 1841, invece il Lago di Rimigliano fu prosciugato nel 1834.

In figura 2 si riporta la situazione al 1846 nella quale si nota come i grandi paduli ed il Lago di Rimigliano siano quasi scomparsi.



A questo punto inizia l'ultima fase della bonifica con la deviazione del Cornia, iniziata nell'anno 1856, ed il definitivo colmamento del Padule di Piombino.

In figura 3 invece si riporta la situazione all'anno 1864, in cui si delinea la moderna Val di Cornia nel suo assetto definitivo.



5 DATI DI BASE

I dati di base sono il risultato di un'attenta e capillare ricerca effettuata all'interno degli enti (comuni, provincia, enti vari) al fine di recuperare più informazioni possibili per fornire un quadro esaustivo delle conoscenze di base.

Questo strato informativo deve costituire un punto di partenza e non di arrivo dello stato delle conoscenze territoriali, a questo scopo viene fornito anche un geodatabase informatico per permettere l'aggiornamento delle informazioni di base.

I dati recuperati sono stati tutti controllati e convalidati eliminando i dati di provenienza incerta o la cui attendibilità non è stata giudicata sufficiente.

Le schede cartacee sono consultabili in allegato attraverso un progressivo numerico suddiviso per comuni.

A questo viene relazionato la Tavola 4.1 sulla quale sono distinti per tipologia di dato e per numero progressivo per rendere agevole la consultazione.

La legenda della carta è stata organizzata al fine di rappresentare il tipo di indagine secondo il seguente schema:

- DPL

- DPM

- DPSHP

- CPT
- SONDAGGIO
- DILATOMETRIA
- POZZO
- PIEZOMETRO
- SAGGIO
- SEV
- SISMICA ONDE P
- TOMOGEOLET 2D

Per i penetrometri dinamici valgono le seguenti specifiche

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla di Riferimento	Peso Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$

Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$
---------------	--------------------	-------------

5.1 ANALISI STATISTICHE DEI DATI

In totale sono stati inseriti 1129 dati, nei grafici successivi si riporta la suddivisione per tipologia e nella figura 4 nel testo la distribuzione nell'area di indagine

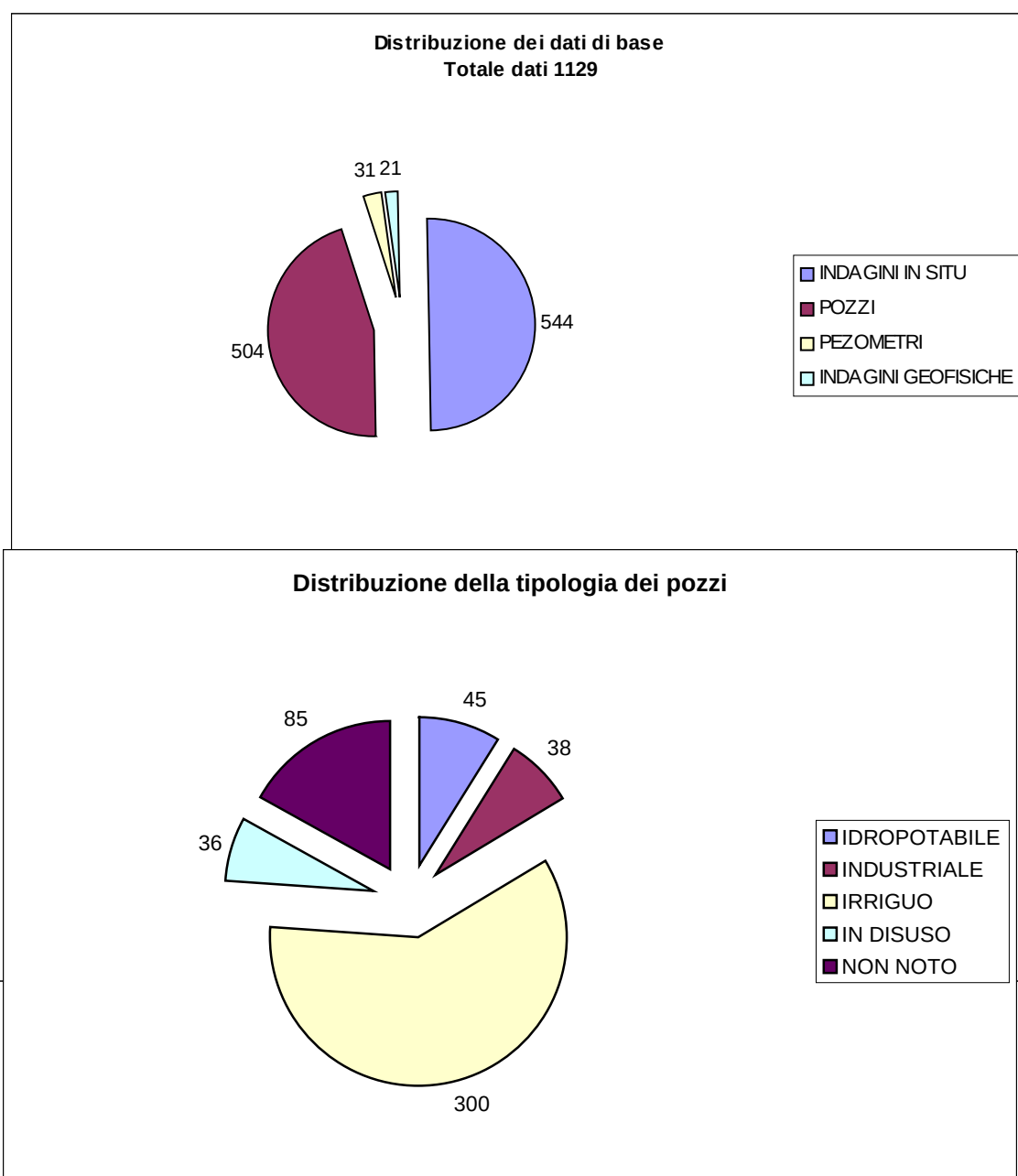
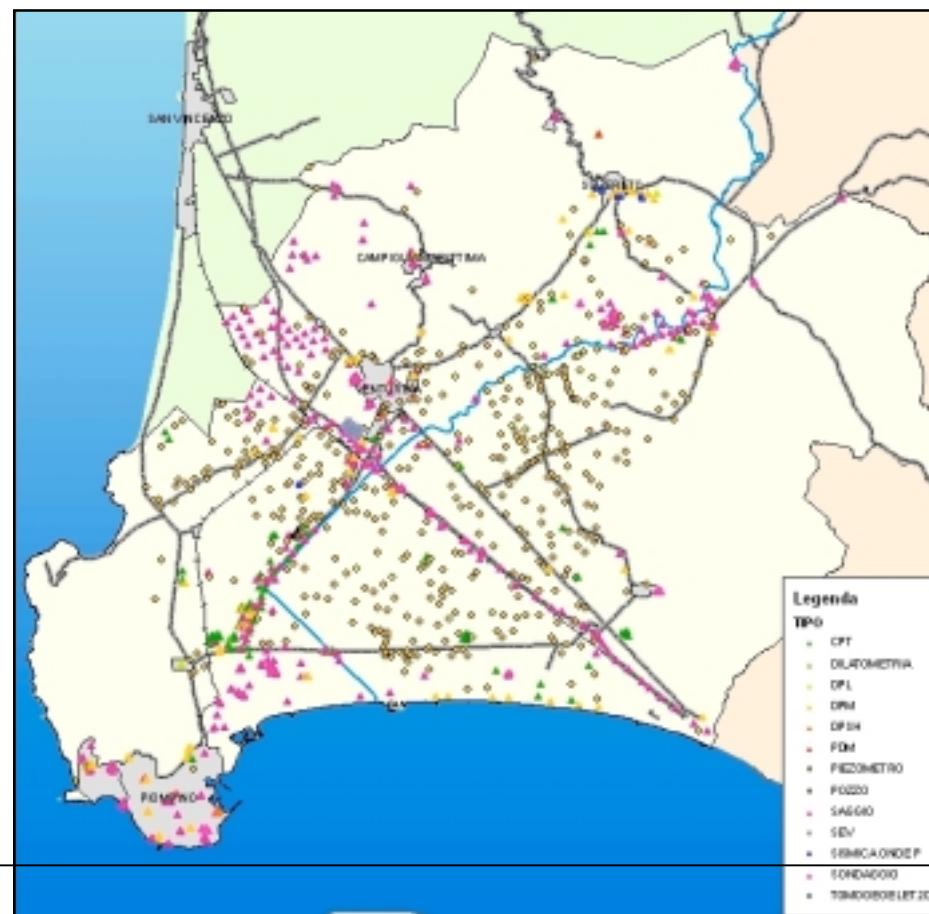
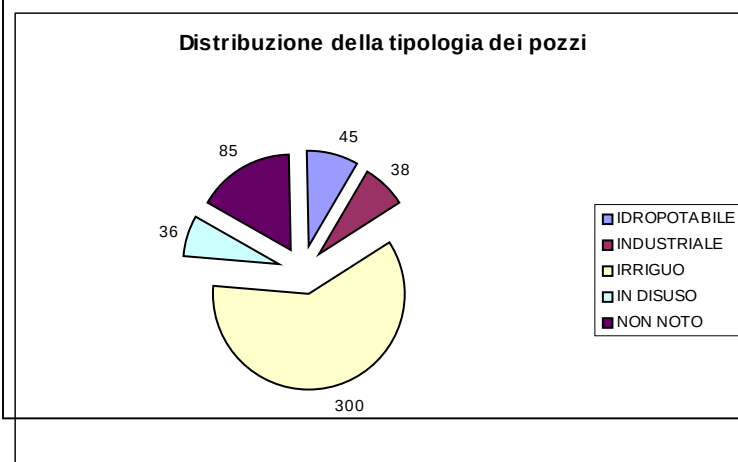
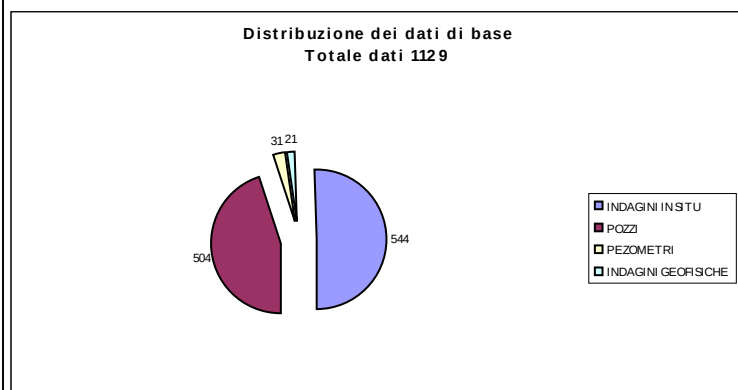


Fig. 4 – Distribuzione e tipologia dei dati di base e grafici statistici



6 CARTA DELL'ACCLIVITÀ

La carta dell'acclività è stata ottenuta mediante il calcolo del modello digitale del terreno per elaborazione delle basi cartografiche fornite dal Circondario.

L'elaborato ottenuto è stato convalidato a mano revisionando l'andamento orografico e andando a correggere i punti ritenuti non in linea con i circostanti o dove erano noti valori altimetrici diversi da quelli riportati nella CTR.

Dopo questa elaborazione si è proceduto alla riclassificazione dei valori numerici seguendo lo schema proposta nel PTC della Provincia di Livorno.

0-5 %

6-8 %

9-15 %

16-24 %

25-40 %

>40 %

La Tavola 4.4, della quale si riporta un estratto in figura 5, rappresenta la distribuzione planimetrica delle pendenze del territorio.

L'analisi della carta consente di fare alcune valutazioni statistiche, i cui risultati sono visibili nella fig. 6 e nei grafici successivi, dai quali si evince che, sebbene la Val di Cornia sia un

territorio prevalentemente pianeggiante, in effetti circa 175 kmq di territorio ha una pendenza $< 5\%$, la parte collinare ha pendenza mediamente elevata considerando che il 21 % del territorio risulta compreso tra la classe 5 e 6.

Inoltre tali valori sono particolarmente rappresentati sulle alture dei monti di Campiglia Marittima e sul Promontorio di Piombino, dove peraltro l'attività geomorfologia, sia essa relativa alla gravità che all'azione delle acque correnti, risulta particolarmente incisiva.

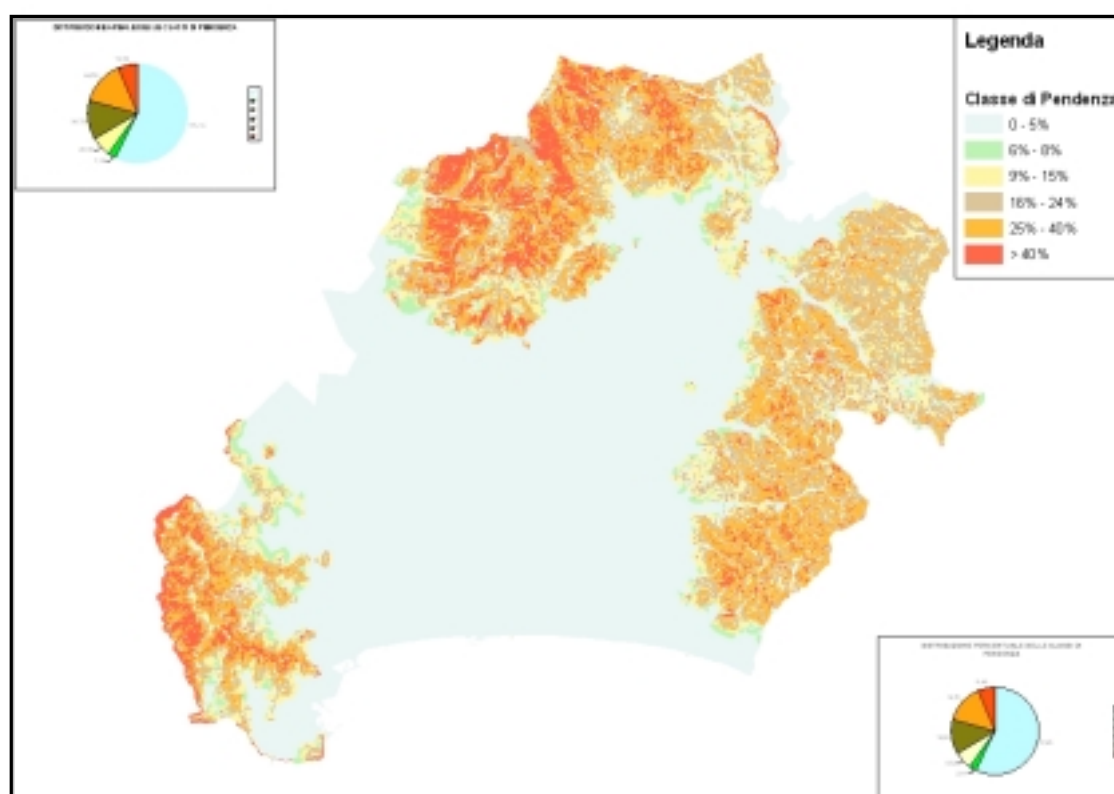


Fig. 5 – Carta delle pendenze

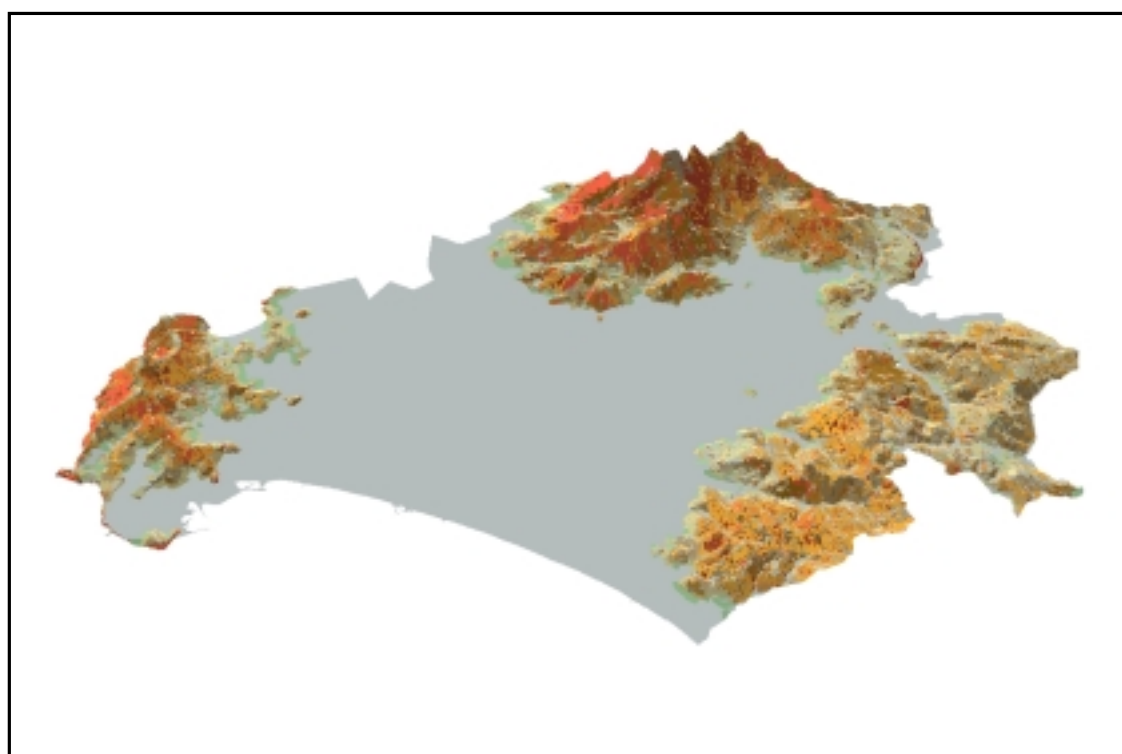
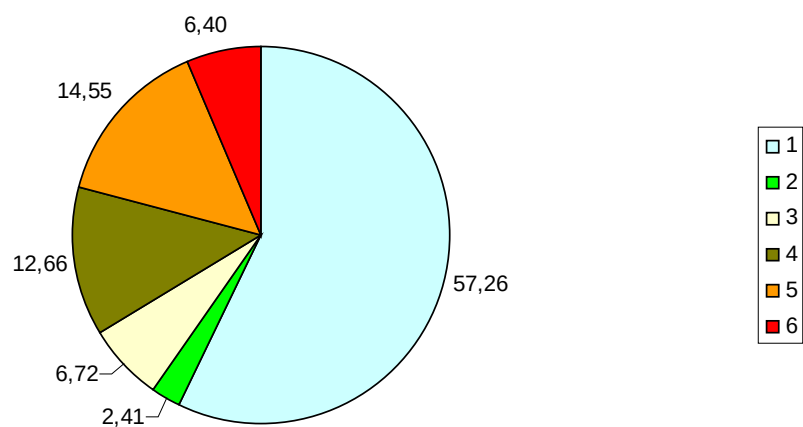
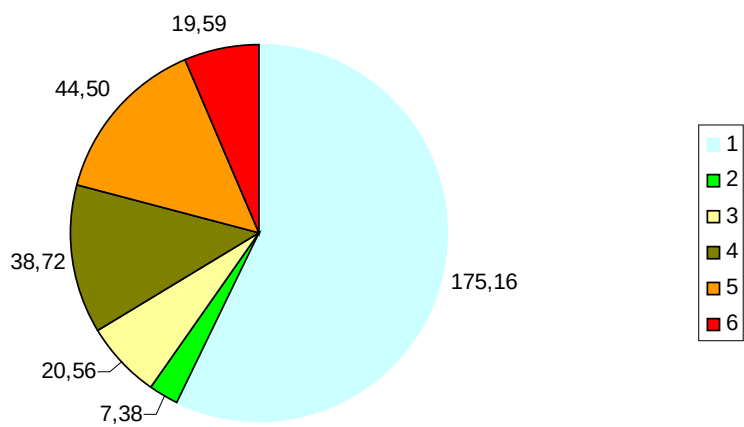


Fig. 6 – Carta 3d della Val di Cornia

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DELLE CLASSI DI PENDENZA**DISTRIBUZIONE AREALE DELLE CLASSI DI PENDENZA**

7 LITOSTRATIGRAFIA DI PIANURA

Questa carta (Tavola 4.5) rappresenta la ricostruzione litostratigrafia dei primi dieci metri dei terreni di pianura.

Tale interpretazione è stata possibile grazie alla grande quantità di dati di base reperiti durante le fasi iniziali del lavoro.

L'area di pianura è stata suddivisa in celle quadrate di lato pari a 500 m, ad ogni cella è stato attribuito un dato stratigrafico in base ai seguenti criteri:

- Attendibilità del dato
 - o Tipo di indagine
 - o Sondaggio

- o Penetrometria Statica
 - o Penetrometria dinamica
- Centralità rispetto alla cella
- Confrontabilità rispetto ai valori circostanti

Le stratigrafie sono state omogeneizzate in tre classi principali:

- Terreni prevalentemente incoerenti a caratteristiche geomeccaniche scadenti
- Terreni a caratteristiche variabili
- Terreni prevalentemente incoerenti a caratteristiche geomeccaniche discrete

Il dato stratigrafico è stato assegnato sulla base dei seguenti criteri:

- strato più rappresentativo per spessore
- profondità dello strato

Per i punti dove vi era una elevata variabilità stratigrafica è stato attribuito il parametro di “caratteristica variabile”.

In questa maniera abbiamo ottenuto un dato elaborabile per le consuete operazioni spaziali.

L'elaborazione spaziale ha quindi permesso di avere un dato territoriale e diffuso sulla Pianura del Cornia il cui risultato è riportato in Tavola G05 (oppure 4.5).

Dall'analisi della tavola si evince che nei primi 10 m di terreno della parte centrale della Pianura del Cornia sono costituiti da terreni prevalentemente incoerenti dalle caratteristiche geomeccaniche scadenti.

Questo dato, seppure noto dalla letteratura, ha permesso di evidenziare la distribuzione spaziale delle classi litostratigrafiche (fig. 7). Inoltre questa elaborazione ha permesso di comprendere le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione evidenziando un'area vasta contraddistinta da parametri scarsi.

Questa situazione viene ancora di più accentuata a seguito del ripetersi di fenomeni di saturazione e essiccamento dei terreni.

E' ipotizzabile che parte dei cedimenti differenziali, che hanno comportato la fessurazione di alcune strutture di fabbricati, siano in parte imputabili anche alle scarse caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione, oltre al noto fenomeno della subsidenza che interessa tutta la pianura.

Inoltre questa elaborazione ha costituito la base per la redazione della Carta Idrogeologica, Litotecnica e della Tutela della Risorsa Idrica.

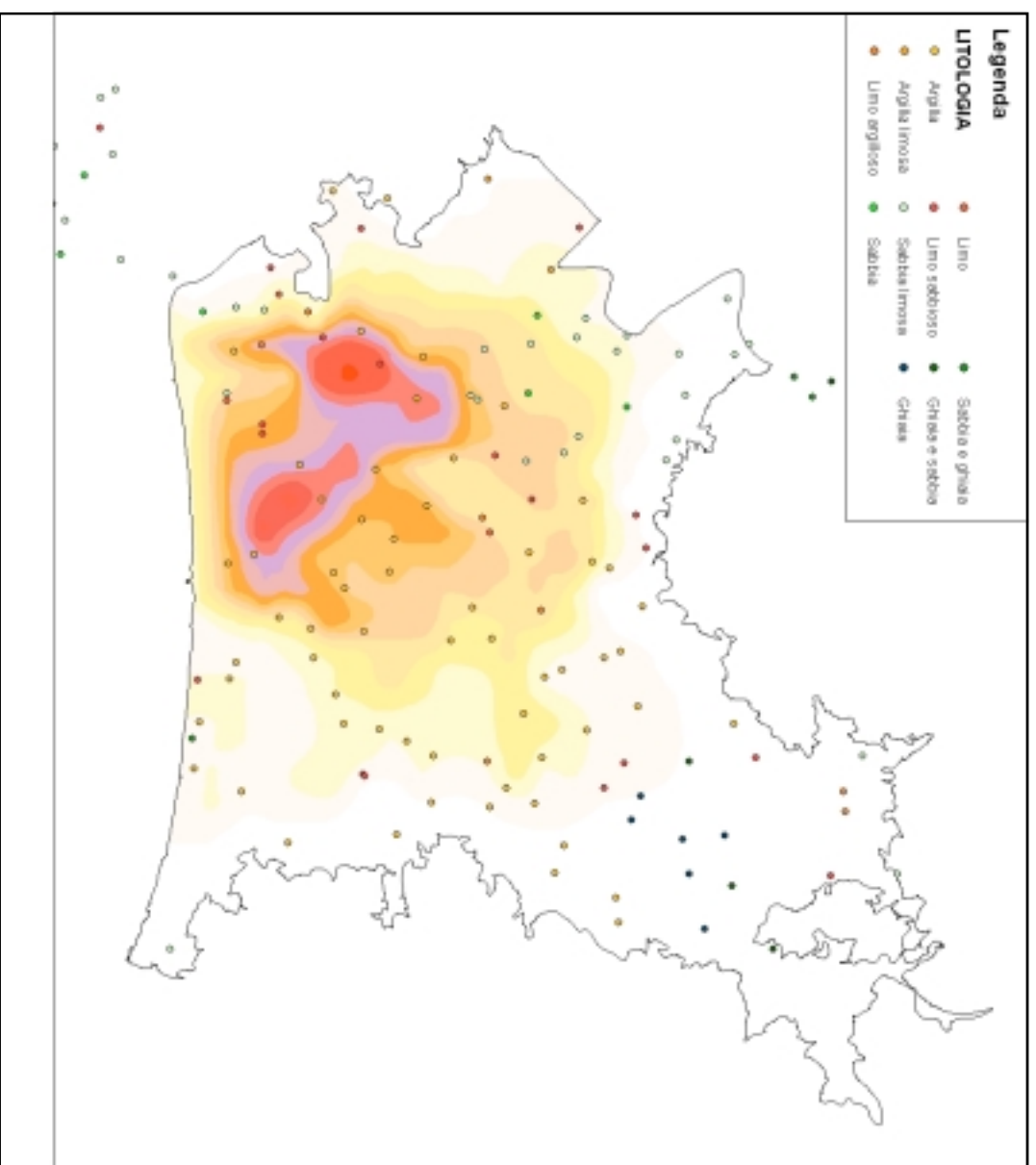


Fig. 7 – Distribuzione litostratigrafia dei terreni di pianura

8 IDROGEOLOGIA

In Tavola 4.6 è presentata la Carta Idrogeologica delle formazioni dell'area di studio. La carta è stata ottenuta accorpendo le formazioni geologiche affioranti nel bacino in cinque classi di permeabilità, cercando di mantenere continuità con gli autori precedenti attenendosi il più possibile conformi alla suddivisione suggerita da GHEZZI G., GHEZZI R., MUTI, A. nella Carta idrogeologica della pianura di Piombino, pubblicata in *UNIVERSITA' DI SIENA, CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, PROVINCIA DI LIVORNO, CIGRI, PARCO ARCHEO-MINERARIO DI SAN SILVERSTRO - LA SCIENZA DELLA TERRA NELL'AREA DELLA PROVINCIA DI LIVORNO A SUD DEL FIUME CECINA* - in "Quaderni del museo di storia naturale di Livorno vol. 13 (1993) Suppl. n.2 " ISSN 0393-3377.

Per le aree di pianura è stata utilizzata la Carta Litostratigrafia riportata nella Tavola 4.5.

Di seguito si riporta la Legenda della carta, dalla quale si può verificare la presenza, all'interno del bacino, di complessi a buona permeabilità sia primaria (complessi alluvionali di pianura e dei terrazzi pleistocenici) che secondaria. In base alla distribuzione in affioramento ed in profondità delle formazioni a buona permeabilità è possibile definire l'esistenza di 2 Unità idrogeologiche delle quali una presenta interesse idropotabile mentre l'altra no.

Permeabilità

	Depositi di origine alluvionale a permeabilità variabile, contenenti livelli di ghiaie sede di falde idriche a buona trasmissività
	Detriti
	Permeabilità alta
	Permeabilità medio/bassa
	Permeabilità scarsa/nulla
	Sabbie con ghiaie, conglomerati, arenarie e calcareniti alternati a livelli di argille, a permeabilità variabile, molto alta in alcuni livelli sabbioso-ghiaiosi
	Aree urbane, Discariche, Aree industriali ove la permeabilità è stata alterata dall'azione antropica

8.1 UNITÀ IDROGEOLOGICA NON DI INTERESSE IDROPOTABILE

8.1.1 *Calcari dei Monti di Campiglia (Sistema idrotermale di Campiglia).*

L'unità si sviluppa a nord di Campiglia Marittima nei rilievi carbonatici del Monte Calvi - Monte Valerio. L'unità presenta soprattutto interesse idrotermale dato che alimenta le manifestazioni sorgive del Calidario, di Canneto e di Caldana, utilizzate negli omonimi stabilimenti turistici/balneoterapici, anche se il bilancio idrico dell'Unità è d'interesse anche relativamente alla possibile ricarica delle falde alluvionali della pianura. Le altre manifestazioni idrotermali isolate, sorgente di Montioni, sorgenti di Sasso Pisano, sorgenti della zona Monte Peloso - San Lorenzo, manifestazioni estinte di Frassine, sono legate preferenzialmente alla circolazione regionale dei fluidi idrotermali piuttosto che a ricariche locali.

Lo schema idro-geotermico regionale, valido anche per l'area di studio, evidenzia un acquifero costituito dalle formazioni carbonatiche mesozoiche e, alla base, dalle evaporiti triassiche. L'acquifero è limitato al letto da formazioni metamorfiche paleozoiche e al tetto può essere confinato dalle argilliti della Scaglia, dal Macigno, dalle Unità Liguri e Austroalpine, dalle argille neo-autoctone (copertura del serbatoio). Le zone di affioramento, localizzate in corrispondenza di horst, rappresentano aree di assorbimento di acque meteoriche, e localmente, in prossimità di faglie dirette, punti di emergenza sorgiva, spesso di acque termali.

L'acquifero è sede di un' importante circolazione di fluidi termali che si manifesta sotto forma di sorgenti e che contribuisce all'alimentazione dei sistemi acquiferi della pianura.

Tutte le acque delle citate manifestazioni sono di tipo solfato-calcico, legate alla circolazione nel complesso carbonatico/evaporitico e presentano salinità variabili fra 1.2 e 3 g/l, secondo il grado di miscelazione con acque di circolazione superficiale.

Le acque presentano in genere una notevole costanza chimico-isotopica stagionale, nonostante le variazioni di portata. Ciò implica una circolazione ampia e profonda, tale da minimizzare le variazioni di composizione indotte dalla ricarica meteorica.

L'ampiezza del sistema idrotermale e le portate in gioco giustificano il contributo della circolazione regionale. La circolazione locale, con ricarica negli affioramenti carbonatici del Monte Calvi, sembra essere predominante solo per il sistema di Campiglia, mentre per il sistema di Suvereto sembra essere essenziale il contributo della circolazione regionale.

Il sistema idrotermale contribuisce in misura non trascurabile all'alimentazione degli acquiferi quaternari di pianura determinando anomalie geotermiche e geochemiche. Si riconoscono due aree principali:

- area di Campiglia, in cui il contributo del reservoir carbonatico determina un notevole incremento termico delle acque di pianura (fino a 30° - 35°C nelle zone più prossime alle sorgenti) e ne modifica la facies idrochimica da bicarbonato-calcica a solfato-calcica;
- area di Forni, in cui si osserva anche un aumento di temperatura delle acque del Fiume Cornia da 16° fino a 20°C (60, 83).

Un'ipotesi era che acqua della Fossa Calda contribuisse cospicuamente alla ricarica della falda di pianura. In seguito alla captazione della Fossa Calda ad uso irriguo tale contributo sarebbe però venuto a mancare. In effetti, nell'area a sud della Fossa Calda si sono rilevati importanti abbassamenti piezometrici negli ultimi anni, non correlabili a prelievi (anzi, nonostante l'abbandono di Campo all'Olmo).

Un'altra ipotesi è che ci siano importanti contributi idrotermali occulti alla falda di pianura da parte della circolazione regionale profonda. Tale ipotesi (fra l'altro fatta anche per la zona di Suvereto) non è attualmente quantificabile e rimane, appunto, un'ipotesi. Pertanto, nel riassumere il bilancio della falda acquifera della pianura del Cornia, abbiamo preferito indicare un campo di variazione compreso fra 3 e 6 Mmc/anno per il contributo dai calcari di Campiglia all'acquifero multistrato.

8.2 UNITÀ IDROGEOLOGICA DI INTERESSE IDROPOTABILE

8.2.1 L'acquifero multistrato della Pianura del Cornia

L'unità idrogeologica dell'Acquifero Multistrato della Pianura del Cornia occupa praticamente tutta l'area di pianura.

É costituita dai depositi alluvionali di conoide e subalveo a granulometria eterogenea, da ciottoli a sabbie, con percentuali variabili di matriche argillosa.

I limiti di tale unità idrogeologica sono i seguenti:

- A nord-est il limite è posto convenzionalmente all'altezza dei Forni
- A nord è limitata dalla zona montuosa di Monte Calvi
- A nord-ovest sfuma nell'unità ad acquifero freatico di San Vincenzo con cui, nel sottosuolo, risulta una parziale continuità
- A sud l'unità si estende sino al mare il cui limite fisico è coincidente con il Promontorio di Piombino
- Ad est è limitata dagli apparati montuosi di San Lorenzo – Ristoro
- Ad ovest si estende sino al mare includendo per continuità l'unità di Rimigliano – Fossa Calda – Poggio all'Agnello

L'unità come accennato, presenta caratteristiche diverse procedendo dalla zona dei Forni al mare.

Nella parte alta sono prevalenti le macroclastiti del Cornia le quali si trovano praticamente in affioramento per gran parte del loro areale.

In questa porzione l'acquifero è di tipo monostrato e costituisce l'area di ricarica dell'intera unità.

Spostandoci verso la zona marina aumentano le percentuali di materiale fine, l'acquifero diviene multistrato con frequenti strutture lentiformi di canale nei subalvei.

In questa porzione si ritrovano gli spessori maggiori, in particolare si raggiungono i 30 m di spessore nella zona della Franciana.

Altri possibili contributi alla ricarica sono identificati nell'unità dei Calcari di Campiglia, negli apporti sotterranei di circolazione profonda oltre al considerevole apporto di acqua marina richiamata anche dalla grande quantità di pozzi ubicati in zona costiera.

8.3 EVOLUZIONE PIEZOMETRICA

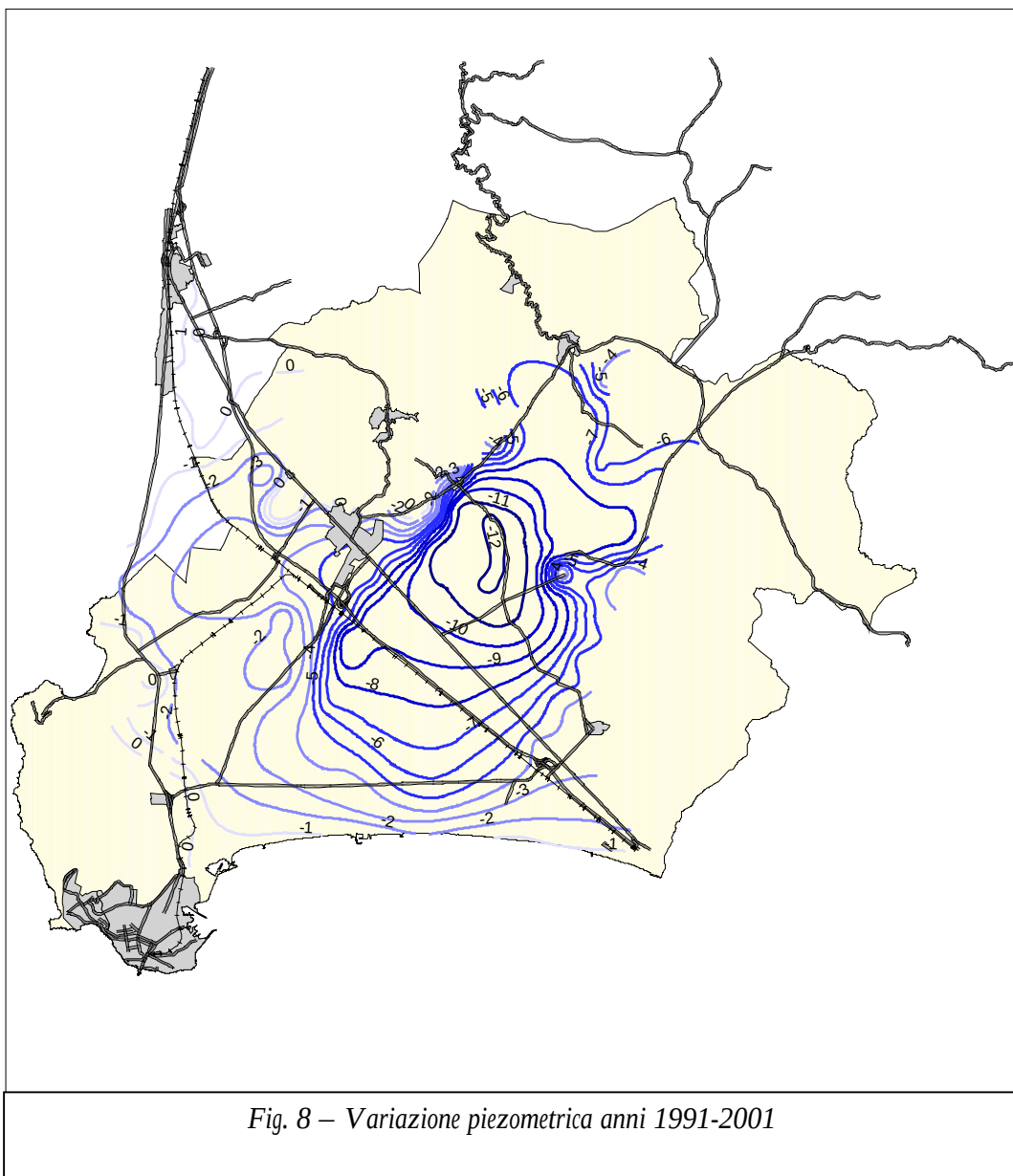
Lo sfruttamento dell'acquifero per usi differenziati ha indotto una serie di variazioni piezometriche con un progressivo abbassamento della falda ed un conseguente arretramento del livello zero verso l'interno.

Studi precedenti hanno ricostruito l'andamento delle linee piezometriche in tutta la pianura a partire dall'anno 1914, considerato il limite di riferimento per la valutazione degli abbassamenti.

Negli anni successivi sono state effettuate una serie di misurazioni dei livelli piezometrici e l'interpretazione di alcune cartografie tematiche oltre alla ricostruzione delle isopieze del periodo di morbida e di magra per gli anni che vanno dal 1983 al 2002.

Inoltre, in figura 8, si riporta la variazione piezometrica negli anni 1991-2001, dalla quale si evince che l'abbassamento più consistente, nell'ordine di 12 m si è avuto nell'area Casetta-Forni- Roviccione.

Un calcolo volumetrico del deficit idrico totale accumulatosi nel trentennio dagli anni 70 al 2001 porta ad una stima di circa **8 Mmc** la cui gran parte circa il 50% si è accumulata negli anni 1990-2001.



8.4 BILANCIO IDROGEOLOGICO

Per quanto concerne il bilancio idrico, non disponendo di ulteriori dati analitici, ci limitiamo a citare i dati dello “Studio conoscitivo del contesto idrogeologico della Val di Cornia di supporto alla pianificazione in materia di risorsa idrica e di tutela delle acque” redatto dalla Soc. Getas Petrogeo nell’anno 2003 per conto del Dipartimento delle Politiche Territoriali e Ambientali.

1. Bilanci idrologici chiusi alla stazione di Venturina (356 km²) – Composizione %

- *Evapotraspirazione: Idromin (1973) = > 65.8% < 74.5 % - metodo Turc*
Ente Maremma (1973) = > 50% < 66.7% - metodo Turc¹
Barazzuoli/Micheluccini (1982) = 64.0%÷64.2 % - metodo Thornthwaite
Raggi (1984) = 68.5% metodi Turc/Coutagne

In sintesi, si può ammettere un valore medio del 65%.

- *Deflusso superficiale: Idromin (1973) = > 16.6% < 26%*
Ente Maremma (1973) = 37.7%²
Barazzuoli/Micheluccini (1982) = 30.1%÷30.4%
Raggi (1984) = 27.3%

In sintesi, si può ammettere un valore medio del 30%.

- *Infiltrazione apparente: Idromin (1973) = > 7.9 < 8.9 %*
Ente Maremma (1973) = 12.3%³

¹ La marcata variabilità della cifra dipende dal fatto che gli Autori calcolano con metodo di Turc una ET pari al 66.7% degli afflussi, ma ritenendo tale valore troppo elevato, preferiscono concludere che per similitudine con altri bacini italiani è verosimile che l’ET sia del 50%.

² Questo valore è poco attendibile. Infatti i deflussi misurati cui corrisponde questa percentuale sono del periodo 1952-1960 ed ammontano a 114.2 Mmc/anno a fronte di una precipitazione media (1952-1960) pari a 911 mm; tuttavia tutti gli altri dati del bilancio si riferiscono ad un anno medio in cui la precipitazione è stata di 850 mm.

Barazzuoli/Micheluccini (1982) = 5.4%÷5.5 %

Raggi (1984) = 4.2%

In sintesi, si può ammettere un valore medio del 5%.

*In base alle percentuali medie su riportate si può stimare il seguente bilancio di massima per il **bacino chiuso a Venturina per il periodo 1992 – 2002:***

Afflussi = media 1992-2002 della stazione Suvereto = 719 mm/anno

Coefficiente di ragguaglio fra gli afflussi di Suvereto e gli afflussi medi sul bacino in base ai dati di Barazzuoli/Micheluccini = $923/806 = 1.145$

Media probabile 1992-2002 sul bacino = 823 mm/anno = 293 Mmc/anno

Evapotraspirazione = $823 \times 0.65 = 535$ mm/anno = 190.5 Mmc/anno

Deflussi = $823 \times 0.30 = 247$ mm/anno = 88 Mmc/anno

Infiltrazione apparente = $823 \times 0.05 = 41$ mm/anno = 14.5 Mmc/anno

2. *Il valore d'infiltrazione apparente su ricavato per il periodo 1992-2002 è in linea con quanto suggerito da Barazzuoli/Micheluccini e Raggi (valori variabili fra 13.3 e 18.2 Mmc). Il limite di attendibilità di tale bilancio è quello tipico dei bilanci idrologici "classici": poiché l'ET è un parametro calcolato e non misurato ed i metodi di calcolo (Turc, Thornthwaite, Coutagne) presentano larghi margini d'incertezza, l'incognita dell'equazione di bilancio, ovvero l'infiltrazione, è soggetta ad altrettanta indeterminazione. Nel caso in esame, è sufficiente un errore del 5% in più o in meno nella stima dell'ET per raddoppiare o annullare l'infiltrazione apparente. Inoltre, il valore dell'infiltrazione apparente non è riferibile ad alcuna Unità Idrogeologica specifica e, come tale, non fornisce indicazioni sul bilancio degli acquiferi.*

3. *Le considerazioni di carattere idrogeologico, indispensabili per definire il bilancio degli acquiferi sotterranei e quantificarne le risorse, sono*

³ Tale valore risente delle approssimazioni derivanti da quanto riportato nelle note 4 e 5.

particolarmente complesse. Purtroppo tali considerazioni sono supportate da dati difficilmente misurabili. Raggi (doc. 60) ipotizza quanto segue:

- *nell'alto bacino si verificano cospicue dispersioni del deflusso superficiale a favore del serbatoio geotermico carbonatico: 15 Mmc dal bacino dell'alto Milia (in parte verso l'area geotermica di Larderello, in parte verso le stesse aree geotermiche della Val di Cornia, secondo le indicazioni del bilancio di Grassi, doc. 16); 10 Mmc dal Cornia nell'area di Frassine;*
- *il deflusso superficiale in transito dalla stazione di Venturina (86 Mmc, nel bilancio di Raggi) non è il semplice scorrimento di acqua piovana che non si è infiltrata e che si è sottratta all'evapotraspirazione;*
- *infatti, di 86 Mmc in transito a Venturina, circa 28 Mmc sarebbero costituiti da acque termo-minerali del sistema di Bagnarello-Suvereto. Tale ipotesi è suffragata da incrementi di temperatura delle acque del Cornia a valle di Forni. L'ipotesi è supportata anche da dati conoscitivi recenti come l'incremento di portata del fiume in alcuni settori del tratto fra Forni e Vivalda (nello stesso tratto in cui invece sono dominanti le cessioni del fiume alla falda), in assenza di tributari. Inoltre, nella zona della Vivalda il Cornia (punto 937 del Dbase) presenta un contenuto di solfati da 106 a 120 mg/l; pur mancando dati sulla composizione chimica del Cornia più a monte si sa, ad es., che nel piezometro Calzalunga (529) l'acqua della falda freatica direttamente alimentata dal Cornia ha un contenuto in solfati di 66 mg/l. A tale proposito, sarebbero utili campagne idrochimiche per accertare la distribuzione lungo l'asta fluviale del contenuto in solfati e la sua variazione nell'arco dell'anno idrologico. Tuttavia gli elementi sono sufficienti per ritenere che ci sia un cospicuo incremento del tenore di solfati, associato all'incremento di temperatura, che testimonierebbe gli apporti di acque del sistema geotermico. Rimane il dubbio sull'effettiva quantificazione di tali apporti;*
- *nel tratto d'asta fra Forni e Casetta, il Cornia disperde a favore dell'acquifero sotterraneo circa 15 Mmc;*

- *il bilancio complessivo degli apporti di ricarica all'Unità Idrogeologica della Pianura del Cornia (esclusa l'area di San Vincenzo) sarebbe pari a 39 Mmc/anno, dati dalla somma di 15 Mmc ceduti dal Cornia fra Forni e Casetta, 6 Mmc dai calcari di Campiglia lungo il margine pianura-montagna a nord di Venturina, 3 Mmc dal bacino del Corniaccia (nell'area orientale, allo sbocco in pianura del Rio Ferraio e del Fosso di Riotorto); 3 Mmc dalle aree collinari di Suvereto e Casalappi, a valle di Forni, 12 Mmc da infiltrazione diretta su tutta l'area di pianura a valle di Forni;*
 - *tale cifra di 39 Mmc/anno può essere messa a confronto con i 37.3 Mmc/anno stimati dal bilancio Idromin come infiltrazione pertinente all'intero bacino Cornia chiuso alla foce, e con i 38 Mmc/anno che si ottengono nel bilancio di Barazzuoli/Micheluccini calcolando l'infiltrazione totale, ovvero sommando all'infiltrazione apparente anche la quota parte del deflusso di base alimentato da acque sotterranee sorgenti.*
7. *In base ai dati e alle elaborazioni di oltre un decennio di studi abbiamo suggerito una stima di massima del Bilancio medio dell'Unità Idrogeologica alluvionale della pianura, costituita da un'area meridionale in cui è presente l'Acquifero Multistrato (prevalentemente confinato) ed un'area settentrionale in cui è presente l'Acquifero freatico di San Vincenzo (poster dell'ALL. 2 e TAV. 28). Il bilancio tiene conto dei suggerimenti degli Autori precedenti, in particolare del lavoro di Muti (1984) per San Vincenzo e delle ipotesi avanzate da Raggi (1984) sugli apporti sotterranei da bacini adiacenti. **Si sottolinea che anche questo bilancio, pubblicato nelle sue linee essenziali nei Quaderni del museo di Storia Naturale di Livorno (1993 vol. 13, suppl. 2), è largamente interpretativo.** A parziale supporto, si deve citare il fatto che la taratura del modello idro-dispersivo dei cloruri di origine marina fornisce una ricostruzione realistica della distribuzione dei cloruri adottando un input in acqua dolce pari al valore di ricarica media della falda di pianura qui riportato. Gli elementi fondamentali del bilancio negli ultimi 10-12 anni sono i seguenti:*

- *il bilancio complessivo degli apporti di ricarica all'Unità Idrogeologica della Pianura del Cornia (esclusa l'area di San Vincenzo) sarebbe pari a circa 36 Mmc/anno, dati dalla somma di:*
 - a. *0.5 Mmc in ingresso in subalveo alla sezione-soglia di Forni (dato piuttosto attendibile, calcolato applicando al legge di Darcy alla sezione idrogeologica di Forni – doc. 83);*
 - b. *12 Mmc ceduti dal Cornia fra Forni e Roviccione (dato supportato da misure di deflusso eseguite nel periodo 1993-94 e nel 2002-2003 ancora in corso);*
 - c. *3.5 Mmc dall'area collinare di Suvereto inclusi contributi idrotermali alla falda freatica fra Forni e Casetta (stima in base agli incrementi di deflusso registrati nel Cornia nel corso delle misure di cui sopra);*
 - d. *2.0 Mmc dall'area collinare di Casalappi alla falda freatica fra Forni e Casetta (stima di larga massima);*
 - e. *2.0 Mmc da infiltrazione di acqua meteorica sulle superfici permeabili della falda freatica fra Forni e Casetta (dato sufficientemente attendibile calcolato in base alla precipitazione media di 720 mm, un'areale di esistenza di 11 km² ed un coefficiente d'infiltrazione presunto pari a 0.25);*
 - f. *da 3.0 a 6.0 dai calcari di Campiglia inclusi contributi idrotermali e Fossa Calda. Per questo dato ci siamo riferiti al bilancio dell' affioramento calcareo di Campiglia (Grassi e Squarci, 1990, 1992) che indica un'infiltrazione max (60% delle piogge) di 11 Mmc, a fronte di una discarica sorgiva media 8.5 Mmc (area Calidario). Anche ammettendo che la circolazione regionale profonda (ritenuta di modesta entità dagli Autori citati) partecipi per il 10-12% all'alimentazione delle sorgenti, il surplus idrico max dell'affioramento sarebbe: $11 - 8.5 + 1 = 3.5$ Mmc. Questa cifra non concorda con l'ipotesi che 6 Mmc (Raggi, 1984) passino dai calcari di Campiglia alla falda della pianura e che almeno 0.6 Mmc passino dai calcari di Campiglia alla falda di San Vincenzo (Muti, 1984, rivisto da Getas-Petrogeo, 1992). Un'ipotesi alternativa è che acqua della Fossa Calda contribuisse cospicuamente alla ricarica della falda di pianura. In seguito alla captazione della Fossa Calda ad uso irriguo tale contributo sarebbe però venuto a mancare. In effetti, nell'area a sud della Fossa*

Calda si sono rilevati importanti abbassamenti piezometrici negli ultimi anni, non correlabili a prelievi (anzi, nonostante l'abbandono di Campo all'Olmo. Un'altra ipotesi (Raggi, 1984; Squarci e Grassi, 1992; Ghezzi et al, 1992) è che ci siano importanti contributi idrotermali occulti alla falda di pianura da parte della circolazione regionale profonda. Tale ipotesi (fra l'altro fatta anche per la zona di Suvereto) non è attualmente quantificabile e rimane, appunto, un'ipotesi. In sostanza, si è preferito quantificare questo contributo con un range di variazione fra il valore minimo di 3.0 Mmc (che si ottiene applicando il bilancio di Squarci e Grassi) ed il valore massimo di 6.0 Mmc (secondo l'indicazione di Raggi);

- g. 2.0 Mmc nel sottosuolo dalla falda di San Vincenzo (valore stimato in base al bilancio dell'area di San Vincenzo);*
- h. 2.0 Mmc dall'area collinare di Montegemoli (stima di larga massima);*
- i. 3.0 Mmc dall'area collinare di Riotorto - bacino Corniaccia (secondo l'indicazione del bilancio Raggi);*
- j. da 3.0 a 6.0 Mmc da infiltrazione di acqua meteorica e re-infiltrazione dell'acqua d'irrigazione sulle superfici scarsamente permeabili della pianura. Il valore è calcolato in base alla precipitazione media di 680 mm, un'areale di esistenza di 150 km². Il campo di variabilità deriva dal fatto che non ci sono dati attendibili per definire il coefficiente d'infiltrazione medio dei depositi fini che coprono la pianura anche a causa della frequenza delle eteropie granulometriche e delle variazioni del grado di addensamento. Si ipotizza che tale coefficiente sia compreso fra il 2.5 ed il 5%.*

- è importante sottolineare che il bilancio complessivo degli apporti di ricarica (36 Mmc) a parte tutte le fonti d'indeterminazione, è una media soggetta ad escursioni annue della stessa entità di quelle che possono interessare l'apporto pluviometrico, ovvero del 40% in più o in meno.*

- 8. Le cifre medie annue del bilancio dei prelievi dalla falda sotterranea della pianura negli ultimi 7 anni (durante il periodo 1992-2002 è cambiata la composizione del prelievo idropotabile per il progetto Anello) sono le seguenti:*

- *Prelievo idropotabile = 11.6 Mmc*
 - *Prelievo industriale = 11.5 Mmc*
 - *Altri prelievi (domestico, irriguo, turistico, altro) = non noto. Campo di variazione in base alle diverse stime: solo prelievo irriguo = 10.1 Mmc (Megale, 2002); 19.6 (Lotti, 1988); totale altri prelievi = variabile fra 12.5 e 18 Mmc secondo le stime Getas-Petrogeo fra il 1996 ed il 2002. Si tratta comunque di una cifra molto variabile da un anno all'altro in funzione della distribuzione e della quantità delle piogge.*
9. *Un'idea di massima del prelievo totale dalla falda di pianura può essere ottenuta analizzando le carte delle differenze piezometriche 1992-2001 e delle differenze di concentrazione dei cloruri per lo stesso periodo. La carta delle differenze piezometriche di lungo periodo indica un deficit idrico medio annuo di circa 500'000 mc/anno. La carta delle differenze di concentrazione indica che nello stesso periodo i cloruri hanno continuato ad entrare dal mare colmando parzialmente le depressioni piezometriche costiere. Pertanto, il deficit medio annuo è > 500'000 mc/anno. Si tiene inoltre conto del fatto che l'industria preleva acqua ad una concentrazione media di circa 5 g/l di cloruri il che significa acqua miscelata con circa il 25% di acqua di mare (circa 2.5 Mmc). Al campo pozzi Salcio ed in alcuni pozzi irrigui della fascia costiera circa il 10% dell'acqua prelevata è acqua di mare. Mettendo insieme queste informazioni non è privo di fondamento ritenere che circa 3.0 Mmc di acqua attualmente prelevata dai pozzi della fascia costiera sia acqua di mare. Ciò porterebbe il deficit medio annuo a circa 3.5 Mmc. In conclusione: non è assolutamente certo ma non è nemmeno improbabile che la media dei prelievi dell'ultimo decennio sia stata superiore del totale della ricarica in acqua dolce di circa 3'500'000 mc/anno, nell'ordine di 39-40 Mmc/anno.*

8.5 STRESS IDROGEOLOGICO

È un dato incontrovertibile che l'acquifero della Pianura del Cornia si trovi in uno stato di stress idrogeologico.

In effetti, a dispetto di un bilancio idrico che, seppure nelle incertezze delle sue determinazioni, oscilla tra un valore minimo di 36 Mmc/anno ad un valore massimo di 39 Mmc/anno e i prelievi sono superiori alla possibilità di ricarica.

Questo dato, al di là dei calcoli, è confermato dall'arretramento del livello piezometrico zero e dagli abbassamenti piezometrici misurati che, nelle aree di maggiore stress, nel periodo 1991-2001, ha raggiunto circa 12 m.

Altro dato importante è la grande quantità di pozzi censiti, 504 da dati in ns. possesso, dei quali in figura 9 si riporta una rappresentazione 3d della distribuzione suddivisa in tipologia e profondità fornendo anche una visione del sottosuolo da un osservatore posto al livello del mare.

Inoltre è stato stimato che il deficit accumulato nel trentennio 1970-2001 è approssimativamente di 8 Mmc dei quali circa il 50% accumulato nell'ultimo decennio.

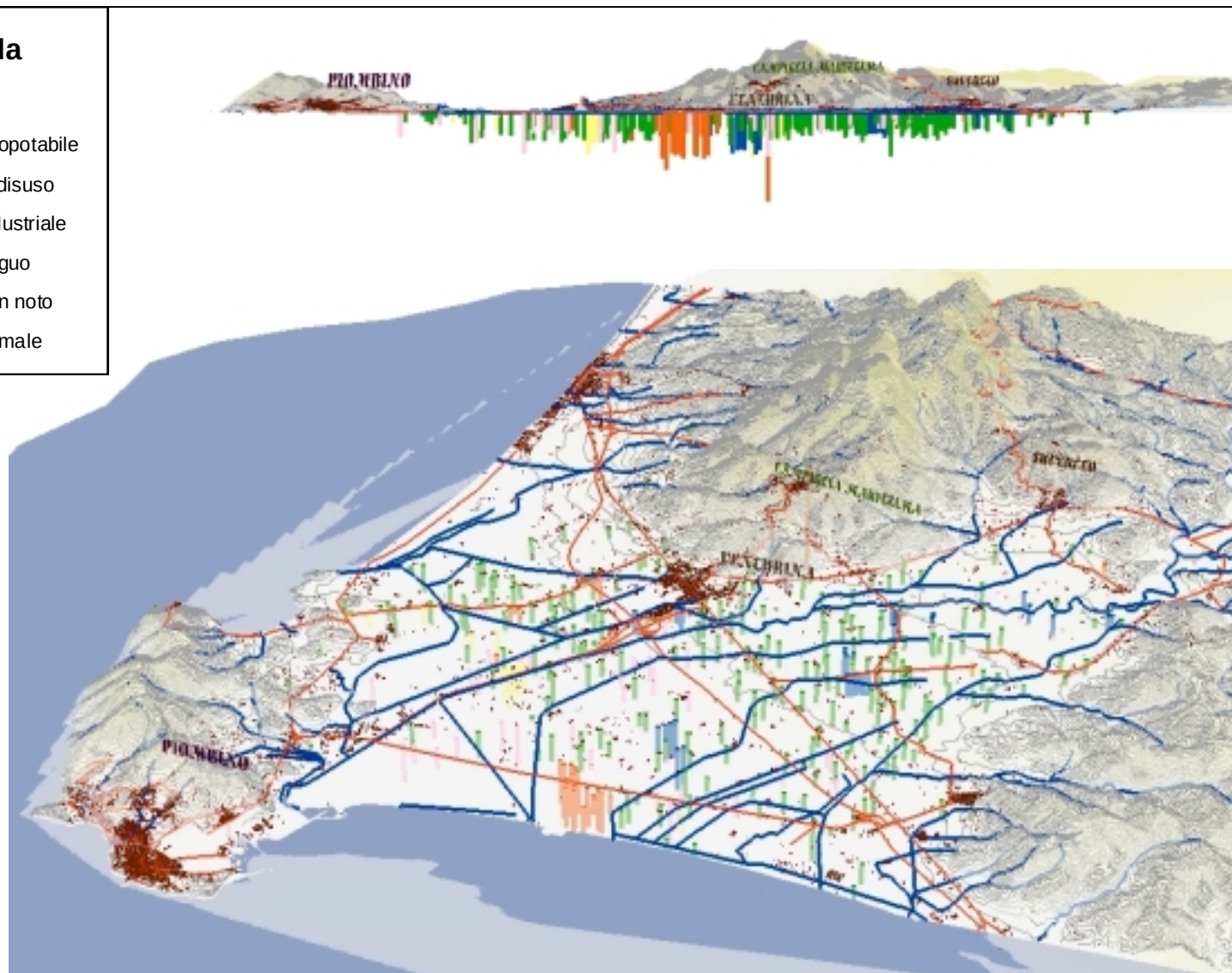
La combinazione “deficit fra entrate ed uscite + depressione del livello piezometrico sotto il l.m.” ha generato l'ingressione e la dispersione di acqua di mare, con incremento progressivo della salinità delle acque sotterranee della pianura costiera. Il fenomeno, ancora lieve negli anni 70, si è particolarmente aggravato a cavallo della metà degli anni '80, fino a raggiungere nel 1991 valori talmente elevati da richiedere la sostituzione delle principali fonti idropotabili (Campo all'Olmo). Il fenomeno è proseguito negli anni 90, con la completa salinizzazione delle acque del Salcio ed attualmente è caratterizzato da una pericolosa tendenza di avanzamento delle curve di bassa-media salinità verso i campi idropotabili di Franciana, Coltie ed Amatello.

Tutto ciò deve essere attentamente valutato per evitare il danneggiamento della risorsa idropotabile con perdita di qualità dell'intero copro acquifero.

Legenda

USO

- idropotabile
- in disuso
- industriale
- irriguo
- non noto
- termale



9 CARTA LITOTECNICA

Le formazioni affioranti sono state esaminate da un punto di vista litotecnico prendendo in esame la loro composizione mineralogica, il tipo di stratificazione, lo stato di fratturazione e degradazione, la granulometria ed il grado di cementazione. Le unità litostratigrafiche sono state accorpate in virtù di un comportamento meccanico omogeneo, indipendentemente dalla loro collocazione stratigrafica.

Per l'individuazione delle diverse Unità Litotecniche si è fatto riferimento alla metodologia messa a punto dalla Regione Toscana (Dip.to delle politiche territoriali e ambientali U.O.C. Rischio sismico) per la valutazione degli effetti locali (Programma VEL).

Nella carta litotecnica le formazioni geologiche sono state organizzate in unità litologico-tecniche in funzione delle caratteristiche litologiche, stratigrafiche e fisico-meccaniche.

Le unità litostratigrafiche sono state talvolta suddivise in sotto-classi in relazione ad eventuali variabilità all'interno della classe di appartenenza:

Unità litologico - tecnica A:

comprende materiale lapideo costituito da un unico litotipo massiccio, non stratificato.

Unità litologico - tecnica B:

è suddivisa in 6 sottoclassi e comprende sia le rocce stratificate, B1 e B2, a stratificazione spaziata e fitta rispettivamente, che quelle costituite da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pelitici (con contrasto di competenza); in particolare si individuano le sotto-classi B3, con siltiti o argilliti < 25%, B4 con siltiti o argilliti comprese tra 25% e 75% e B5 se siltiti e

argilliti sono > del 75%. Infine è stata individuata la sotto-classe Bd costituita da alternanze disordinate e/o caotiche.

Unità litologico - tecnica C :

in questa U.L.T. sono comprese rocce e rocce deboli costituite da materiale prevalentemente granulare con grado di cementazione medio-basso, che presentano caratteristiche intermedie tra quelle delle rocce e quelle dei terreni s.s.; possono rientrare in questa classe anche le rocce lapidee intensamente degradate ed alterate. Al suo interno sono state individuate tre sotto-classi, C1, C2 e C3 a seconda della relazione tra clasti, matrice e cemento.

Unità litologico - tecnica D :

comprende terreni coesivi con consistenza elevata ed è rappresentata dalla sotto-classe D2, costituita da terreni argillosi.

Unità litologico - tecnica E :

comprende terreni con stato di addensamento da addensato a sciolto costituiti da materiale prevalentemente granulare non cementato o con lieve grado di cementazione; al suo interno sono state distinte le sottoclassi E1, E2 ed E3.

La sottoclasse E1 comprende i corpi detritici grossolani con elementi lapidei di dimensioni mediamente >60mm. In questa classe sono stati inseriti i riporti antropici, le paleofrane ed i depositi alluvionali terrazzati. Sono state inoltre inserite le coltri detritiche e le frane impostate all'interno di formazioni litoidi con scarsa percentuale di argilliti

La sottoclasse E2 comprende corpi detritici con elementi lapidei mediamente compresi tra 2 e 60 mm. In questa classe sono stati inseriti i depositi alluvionali attuali, gli alvei fluviali e le

coltri detritiche e le frane impostate all'interno di formazioni caratterizzate da una granulometria media.

La sottoclasse E3 comprende corpi detritici con granuli compresi tra 2 e 0.60 mm. In questa classe sono stati inserite le coltri detritiche e le frane impostate all'interno di formazioni argillose.

Per la definizione delle caratteristiche litotecniche delle aree di pianura si è fatto riferimento alla Tavola 4.5.

10 LA SUBSIDENZA

Il fenomeno della subsidenza nella Pianura del Cornia è storicamente noto tanto che è presente una rete di caposaldi, eseguita dall'IGM sulla quale sono state condotte livellazioni di quota del piano di campagna a partire dal 1891 per proseguire nel 1951 e nel 1987 i cui risultati sono raccolti nella pubblicazione del Prof. Bartolini et alii (1989), nella quale si evidenzia l'abbassamento del livello del suolo e le diverse velocità spazio-temporali. Questi abbassamenti sono state correttamente interpretate come subsidenza poiché, con questo termine, si intende un lento abbassamento del suolo, dimostrabile a seguito di livellazioni topografiche periodiche su una rete di capisaldi, non imputabile ad altre cause (ad es. aumento del livello medio marino).

In funzione delle cause che generano la subsidenza questa può essere uniforme nello spazio e nel tempo oppure mostrare variabilità temporale e spaziale nel territorio.

Le misurazioni IGM hanno messo in evidenza una accelerazione del cedimento 1951-1987 rispetto al periodo 1891-1951: da 2 fino a 6 volte con variazioni spazio temporale di notevole valore.

Particolarmente significativi sono i dati dei capisaldi di Vignarca e Podere Pappasole:

a Vignarca, la variazione altimetrica è stata di 8 cm nel periodo 1891-1951, pari ad una velocità media di subsidenza di 1.3 mm/anno; è stata di 31 cm nel periodo 1951-1987, pari ad una velocità media di subsidenza di 8.7 mm/anno.

a Podere Pappasole la variazione altimetrica è stata di 5 cm nel periodo 1891-1951, pari ad una velocità media di subsidenza di 0.8 mm/anno; è stata di 14 cm nel periodo 1951-1987, pari ad una velocità media di subsidenza di 3.9 mm/anno.

Le cause della subsidenza possono essere molteplici, tra le quali:

- subsidenza geologica naturale
- innalzamento eustatico del livello del mare
- consolidamento dei depositi di colmata degli antichi paduli e stagni costieri
- sovraccarichi (strade, autostrade, ferrovie, opere di forte incidenza)
- subsidenza idrogeologica, generata dall'estrazione di acqua dalle falde confinate della pianura e dal conseguente declino del carico piezometrico.

Precedenti autori ritengono che la causa principale della subsidenza della Pianura del Cornia sia idrogeologica, conseguente alla dissipazione di pressioni interstiziali generata dagli abbassamenti piezometrici dovuti ai pompaggi. Gli altri fattori, infatti, non erano in grado di giustificare né l'intensità, né la particolare distribuzione dei cedimenti osservati, né, tanto meno, il forte aumento di velocità del fenomeno nella seconda metà del secolo.

In effetti nel lavoro del Prof. Bartolini si stima che il tasso di subsidenza imputabile a cause naturali fosse di 0,03 mm/anno, valore poco significativo rispetto a quelli reali.

Nei vari modelli interpretativi presentati dagli autori precedenti si osserva la distribuzione in Val di Cornia della velocità media della variazione altimetrica (mm/anno) nel periodo 1951-1987, e si nota che i valori massimi di velocità media del fenomeno sono localizzati in corrispondenza dei due principali centri di pompaggio idrico di quel periodo: il campo pozzi dell'acquedotto di Piombino, Campo all'Olmo, e il campo pozzi industriale delle acciaierie alla Vignarca.

Dal 1994 è entrato in attività il nuovo sistema acquedottistico dell'Anello e il fulcro del prelievo idropotabile si è spostato dall'area di Campo all'Olmo (idrogeologicamente non idonea, a bassa trasmissività, con problemi di qualità idrica a causa dei cloruri di origine marina) all'area dei quattro nuovi campi pozzi visibili nella Tavola 4.1 (area ottimale dal punto di vista idrogeologico, sia quantitativo che qualitativo).

Successivamente all'entrata in funzione del nuovo acquedotto, CIGRI S.p.A. ha commissionato alla società GETAS S.r.l. di Pisa, due studi finalizzati all'analisi del fenomeno della subsidenza in relazione alle lesioni riscontrate sui fabbricati nella zona di Casalpiano:

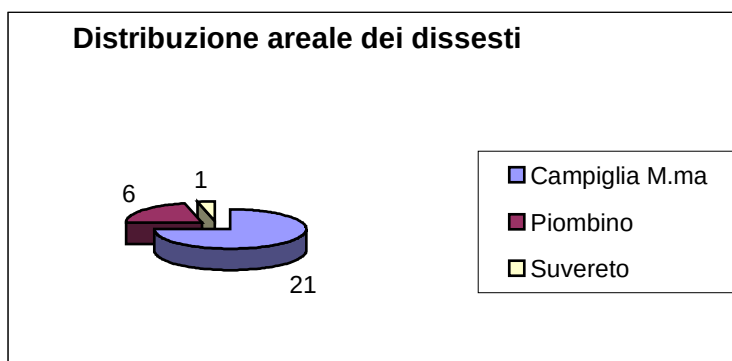
- Indagine sulle lesioni dei fabbricati nell'area di Casalpiano - analisi delle cause e dei possibili interventi correttivi. (Agosto 1999)
- Modello idrogeologico e geotecnico per lo studio della subsidenza nella pianura del Cornia (Maggio 2000 – Atti del Convegno sulla subsidenza svoltosi a Venturina)

Il primo lavoro è un'analisi del fenomeno delle lesioni sui manufatti per un totale di 52 nuclei abitativi nelle zone di Casalpiano, Coltie e Franciana, mentre il secondo, risulta essere un'analisi più ampia e generale del fenomeno della subsidenza in località Casalpiano.

Nel 2002 viene eseguito un attento lavoro di monitoraggio dal Geol. Luca Sbrilli, su incarico del Comitato Case Lesionate, “CORRELAZIONI TRA EMUNGIMENTI DI FALDA E LESIONI STRUTTURALI SU ALCUNI MANUFATTI DELLA PIANURA DELLA VAL DI CORNIA”, nel quale si riportano oltre ad un'analisi interpretativa del fenomeno utili informazioni sulla dinamica, tipologia e ubicazione delle lesioni subite dai fabbricati.

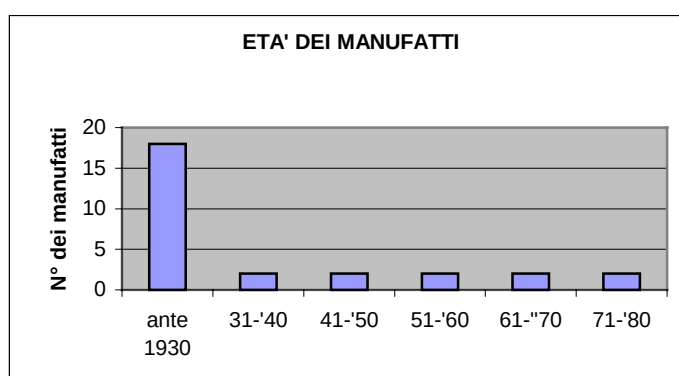
In particolare si nota come il fenomeno dei dissesti si sia sviluppato principalmente nel territorio comunale di Campiglia M.ma, in minor parte in quello di Piombino e

secondariamente Suvereto. Tale distribuzione conferma lo spostamento del fenomeno verso l'interno, allontanandosi di fatto da quelle che sono sempre state le zone caratterizzate da subsidenza.



Per quanto concerne i manufatti che hanno subito lesioni è stato osservato come il fenomeno abbia interessato indistintamente immobili di oltre un secolo di vita e immobili di recente costruzione non determinando in tal senso nessun fattore discriminante.

Analizzando il Grafico successivo, si nota come gran parte dei manufatti sia stato costruito prima del 1930.



Dei 28 manufatti analizzati nel lavoro di Sbrilli, solo 12 hanno avuto nel tempo degli ampliamenti strutturali più o meno sostanziali.

Per quanto concerne invece la tipologia delle fondazioni queste sono prevalentemente a sacco, solo i manufatti più recenti o gli ampliamenti possiedono fondazioni superficiali a trave rovescia. Tra gli immobili analizzati risulta una sola fondazione a platea.

Il grafico successivo evidenzia l'anno d'inizio del fenomeno delle lesioni sui manufatti analizzati e risulta ben evidente come la maggior parte delle lesioni abbia avuto inizio tra il 1996 e il 1997. A tale proposito, nel grafico si è riportato anche il dato di un generico periodo 1996/97 in quanto alcuni intervistati non ricordavano la data con precisione.



Il modello di previsione, aveva messo in risalto alcune dinamiche dell'abbassamento del piano di campagna a seguito di una previsione di diminuzione del livello piezometrico.

Tali evidenze possono essere riassunte in tre punti fondamentali:

- i cedimenti aumentano dalla costa verso l'interno, secondo una scala relativa ad intensità crescente. L'area in cui si sono verificati i dissesti è caratterizzata da cedimenti definiti "forti", pari a circa 10 cm in quattro anni;
- a causa della diversa distribuzione delle caratteristiche geotecniche (spessore dei depositi compressibili e compressibilità degli strati argillosi), cedimenti ancora più forti sono probabili nell'area degli Affitti (fino a 15 cm);
- sempre a causa delle caratteristiche geotecniche, la velocità con cui si dissipano le deformazioni assume un ruolo fondamentale: nell'area settentrionale di Casalpiano le deformazioni si dissipano rapidamente, per cui il cedimento di 10-11 cm calcolato dal modello nei quattro anni rappresenta praticamente il 100% del cedimento totale per il dato abbassamento piezometrico. Viceversa, nella parte meridionale della pianura i cedimenti si sono dissipati solo per il 40-50%.

Nel biennio 2003-2005 il Circondario della Val di Cornia ha eseguito una livellazione su una rete di caposaldi.

I risultati del lavoro sono in sostanziale congruenza con il modello di previsione evidenziando un abbassamento reale del piano di campagna con tassi nell'ordine di 10-20 mm/anno nell'alta pianura.

Il lavoro effettuato nell'ambito del piano strutturale, relativo alla raccolta ed elaborazione dei dati di base, ha permesso alcune considerazioni aggiuntive a quanto già noto, in particolare con la redazione della Crta Litostratigrafia di Tavola 4.5, si può ipotizzare una correlazione tra la risposta geomeccanica dei terreni di fondazione alle sollecitazioni e la tipologia di fondazione o la distribuzione dei carichi strutturali.

In effetti da una lettura dei dati relativi alle lesioni sui fabbricati si evincono le seguenti considerazioni:

1. la maggior parte delle lesioni si concentrano nelle zone caratterizzate da caratteristiche geomeccaniche scarse;
2. a breve distanza o anche all'interno di uno stesso nucleo coesistono fabbricati con lesioni evidenti ed altri poco o nulla lesionati;
3. è evidente una relazione fra tipologia di fondazione ed entità dei dissesti in particolare le lesioni più gravi si rinvencono in fabbricati con fondazione a sacco;
4. I fabbricati più colpiti presentano evidenti corpi aggiunti oppure, a breve distanza dall'abitato, hanno un pozzo tubolare che produce dallo stesso acquifero confinato dei campi pozzi pubblici e per il quale è in atto un utilizzo particolarmente intenso.

Comparando questi dati con le caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazioni si può ipotizzare anche una componente superficiale del cedimento a seguito di compattazione meccanica per carico indotto dall'alto.

Ciò non toglie che i fenomeni siano evidenti e che la subsidenza di origine idrogeologica sia preponderante e determinante nell'area. la cui dinamica ha subito un'accelerazione negli ultimi tre/quattro anni, in concomitanza di un aumento dei prelievi sotterranei dalla falda e di un ridotto regime di apporto pluviometrico.

11 IL MODELLO SINTACS

In Tavola 4.8 si rappresenta la distribuzione planimetrica dei parametri della vulnerabilità intrinseca della falda calcolati applicando, all'areale rappresentato, il Modello Parametrico SINTACS.

La *vulnerabilità intrinseca o naturale* degli acquiferi si definisce come la “suscettività specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido od idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo” (Civita, 1987)

La conoscenza della vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei è uno degli elementi vincenti nella protezione ambientale e nella pianificazione territoriale. Tra i vari metodi di valutazione, il sistema a punteggi e pesi denominato SINTACS (messo a punto dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche) è sicuramente a tutt'oggi lo strumento più affidabile che possa essere utilizzato, poiché già applicato con successo su molte aree del territorio italiano.

Il nome del metodo deriva dall'acronimo dei parametri presi in considerazione:

Soggiacenza

Infiltrazione efficace

Non-saturo (effetto di autodepurazione del)

Tipologia della copertura

Acquifero (caratteristiche idrogeologiche)

Conducibilità idraulica dell'acquifero

Superficie topografica (acclività della)

L'applicazione del metodo SINTACS può essere riassunta nei seguenti punti:

- acquisizione dei dati necessari per la definizione dei parametri mediante i quali valutare la vulnerabilità, tenendo conto dell'effettiva tipologia, frequenza e validità delle informazioni di base necessarie;
- a ciascun parametro, suddiviso per intervalli di valore e/o tipologie dichiarate, è attribuito un punteggio crescente in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva finale;
- i punteggi ottenuti per ciascun parametro sono moltiplicati per stringhe di pesi che descrivono la situazione idrogeologica e/o impatto, enfatizzando in varia misura l'azione e l'importanza dei diversi parametri (PCSM = Point Count System Models);
- i punteggi così ottenuti sono sommati tra loro per dare il valore della vulnerabilità intrinseca.

L'applicazione del metodo SINTACS nella sua versione originale presenta un limite operativo molto importante, relativo al software utilizzato nell'elaborazione. Infatti, la metodologia prevede l'uso, in fase d'elaborazione, dei comuni fogli elettronici, in particolare "Excel for Windows"; questo determina per limiti insiti nei software (numero massimo di elementi finiti quadrati EFQ utilizzabile) la limitazione delle aree di analisi e una risoluzione che non può scendere al di sotto di $EFQ = 0.5$ km di lato.

Questo limite può essere superato facendo ricorso alla tecnologia GIS che permette, oltre agli ormai noti vantaggi che derivano dal suo utilizzo, di usare qualsiasi risoluzione si ritenga necessaria e di effettuare analisi su aree molto vaste; per il presente lavoro è stato utilizzato il software ArcView della ESRI, poiché già a disposizione dell'Amministrazione Provinciale.

Per le considerazioni fatte nell'introduzione si è scelto di applicare il metodo SINTACS per la valutazione della vulnerabilità degli acquiferi, all'acquifero freatico superficiale. A questo punto è necessario fare alcune precisazioni metodologiche:

- l'area di studio per la valutazione della vulnerabilità dell'acquifero freatico ha all'incirca la massima estensione del limite della alluvioni del Cornia;
- nel presente studio, in relazione all'accuratezza dei dati a disposizione e alle dimensioni dell'area di indagine, è stato utilizzato un EFQ (elemento finito quadrato) di 0.1 km di lato.

Si ricorda inoltre che per tutte le procedure di calcolo e di attribuzione dei punteggi e dei pesi si farà riferimento al volume “ SINTACS un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento – Metodologia ed Automazione” a cura di Massimo Civita e Marina De Maio.

11.1 SOGGIACENZA

La soggiacenza (nel caso di un acquifero freatico) definita, come la profondità della superficie piezometrica rispetto al piano di campagna, riveste notevole importanza nella determinazione della vulnerabilità degli acquiferi; infatti, dal suo valore assoluto e dalle caratteristiche idrogeologiche dell'insaturo dipende il tempo di transito (TOT) di un inquinante idroportato, e quindi la durata di tutte le azioni autodepurative all'interno dell'insaturo stesso.

Nella valutazione della soggiacenza, è necessario considerare la superficie piezometrica in morbida nell'anno idrologico in cui si è registrata la massima escursione di livello.

Operativamente la carta della soggiacenza è stata ottenuta dalla differenza tra il modello digitale del terreno (*Digital Elevation Model*) e il modello digitale della superficie piezometrica, ricavata dai dati a nostra disposizione.

11.2 INFILTRAZIONE EFFICACE

Questo fattore assume notevole importanza nella valutazione della vulnerabilità, poiché regola il trascinamento in profondità degli inquinanti ma anche la loro diluizione, dapprima nell'insaturo e quindi nella zona di saturazione.

Le informazioni di base necessarie per la valutazione e la territorializzazione dell'infiltrazione consistono nelle serie storiche (almeno ventennali) dei dati pluviometrici e termometrici mensili, misurate in tutte le stazioni esistenti nell'area di interesse ed ai margini di essa, e nelle caratteristiche delle rocce affioranti e/o dei suoli che ne costituiscono la copertura.

Il metodo SINTACS fornisce due sistemi per la valutazione dell'infiltrazione efficace a seconda se siamo in presenza di suoli sottili/assenti oppure suoli spessi.

Nel primo caso (suoli sottili o assenti), in base ai dati reperiti, sono calcolate le precipitazioni medie annue P e l'evapotraspirazione reale media annua E_r , da cui si ricavano le precipitazioni efficaci Q . Sulla base dei complessi idrogeologici presenti nella zona in esame, è calcolato il coefficiente d'infiltrazione potenziale χ e quindi l'infiltrazione efficace I .

$$Q = P - E_r$$

$$I = Q * \chi$$

Nel secondo caso (suoli spessi), le precipitazioni medie annue P sono direttamente moltiplicate per il coefficienti di infiltrazione potenziale:

$$I = P * \chi$$

Per quanto ci riguarda si è ritenuto accettabile considerare la presenza di suoli con spessori superiori al metro in tutta la pianura, e di assumere le caratteristiche tessiturali dei depositi sottostanti come proprie del suolo. Fanno eccezione i depositi di spiaggia attuale, dove ovviamente il suolo non ha ancora avuto la possibilità di formarsi.

11.3 NON SATURO (EFFETTO DI AUTODEPURAZIONE DEL)

La zona insatura è la parte del sottosuolo compresa tra la base del suolo e la superficie piezometrica dell'acquifero. Il non saturo rappresenta la seconda linea di difesa nei confronti degli inquinanti liquidi e/o idroveicolati.

All'interno dello spessore insaturo fattori fisici e chimici operano insieme, nei processi d'attenuazione ed abbattimento degli inquinanti. L'effetto d'autodepurazione del non saturo è legato quindi alle condizioni litologiche dello spessore insaturo (composizione, granulometria, fratturazione, carsismo, ecc.).

La valutazione di questo parametro si effettua attribuendo un punteggio alla litologia del parallelepipedo insaturo avente come base la singola maglia di discetizzazione (EFQ). Ciò è immediato se la litologia è uniforme, in caso contrario è necessario calcolare la media ponderata riferita allo spessore insaturo:

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

dove:

N = effetto dell'insaturo

P = punteggio di ogni singolo litotipo

h = spessore di ogni singolo litotipo

Per l'attribuzione dei punteggi relativi all'effetto d'autodepurazione del non saturo è stata fatto riferimento ai dati che hanno portato all'elaborazione della Tavola G05.

11.4 TIPOLOGIA DELLA COPERTURA

La copertura rappresenta la prima linea di difesa, ed è al suo interno che si esplicano importanti processi che collettivamente costituiscono il *potenziale d'attenuazione del suolo*.

Il suolo è identificato come “sottosistema aperto, trifase, accumulatore e trasformatore di energia e materia che si sviluppa per alterazione e trasformazione fisico - chimica e biologica dei litotipi del substrato e delle sostanze organiche che vi si accumulano” (BUSONI *et al.*, 1995).

Nella valutazione di questo parametro devono essere presi in considerazione due gruppi di parametri pedologici:

1. parametri fisici
2. parametri chimici e biologici

I parametri del primo gruppo controllano la situazione fisica reale e i processi che la caratterizzano (assorbimento, filtrazione, capacità di drenaggio, grado di umidità, ecc.),

mentre il secondo controlla direttamente la capacità di adsorbimento di un inquinante da parte del suolo.

Anche in questo caso per l'attribuzione dei punteggi si è fatto riferimento alla tavola G05.

11.5 ACQUIFERO (CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL)

L'acquifero è definito come la zona satura all'interno di un determinato complesso idrogeologico. Il parametro tipologia dell'acquifero considera quindi, i processi d'attenuazione che avvengono sotto la superficie piezometrica quando un inquinante raggiunge l'acqua sotterranea. I processi principali che intervengono sono:

- dispersione;
- diluizione;
- assorbimento;
- reattività chimica del mezzo.

Questi processi dipendono in larga misura dalle caratteristiche litologiche (composizione, granulometria, fatturazione, ecc.) dei complessi idrogeologici contenenti le falde acquifere. La valutazione di questo parametro si effettua attribuendo, un punteggio alla litologia del parallelepipedo di roccia satura, avente come base la singola maglia di discretizzazione (EFQ). Ciò è immediato se la litologia è uniforme, in caso contrario è necessario calcolare la media ponderata riferita allo spessore acquifero. Anche in questo caso è stata molto utile sia la tavola g05 che i dati stratigrafici reperiti presso gli enti e parte integrante dei dati di base.

11.6 CONDUCEBILITÀ IDRAULICA DELL'ACQUIFERO

La conducibilità idraulica, è la capacità di spostamento dell'acqua sotterranea nel mezzo saturo e, dunque, di un inquinante idroportato o con le stesse caratteristiche di densità dell'acqua. Da questo parametro a parità d'altri fattori, dipende la portata unitaria dell'acquifero e la velocità di spostamento verso i punti di recapito o le captazioni.

I metodi migliori per la valutazione della conducibilità idraulica di un acquifero, sono le prove di assorbimento in pozzo e le prove di pompaggio, tuttavia in genere queste sono poco frequenti, e mal distribuite sul territorio, per cui il metodo SINTACS fornisce la possibilità di valutare, tramite apposite tabelle, la conducibilità idraulica partendo dalle caratteristiche litologiche dei complessi acquiferi.

Nell'area di studio per quanto riguarda la composizione litologica dei complessi idrogeologici valgono le considerazioni fatte in precedenza, pertanto si assume che la litologia dell'acquifero corrisponda a quella in affioramento.

I punteggi relativi a questo parametro sono stati attribuiti assegnando a ciascuna litologia una conducibilità idraulica, ottenuta dal confronto delle prove di pompaggio disponibili con le tabelle fornite dal metodo SINTACS.

11.7 SUPERFICIE TOPOGRAFICA (ACCLIVITÀ DELLA)

L'acclività della superficie topografica influisce sulla valutazione della vulnerabilità intrinseca, soprattutto perché da essa dipende la quantità di ruscellamento che si produce a parità di precipitazione e la velocità di spostamento dell'acqua sulla superficie

Operativamente, si stabiliscono delle classi d'acclività attribuendo il massimo punteggio SINTACS alle aree con superficie pianeggiante.

Il dato di base relativo alla pendenza della zona d'interesse è stato attribuito in base al modello digitale del terreno calcolato nel presente lavoro.

11.8 CONSIDERAZIONI

L'analisi della Tavola G08 porta ad alcune brevi considerazioni:

L'area di pianura ha una vulnerabilità da alta ad elevatissima

Gli elevati valori provengono principalmente da due fattori:

Le possibilità di ristagno

La tipologia dell'insaturo che non offre garanzie sufficienti di protezione

Le aree a vulnerabilità elevatissima sono limitate alle alluvioni grossolane del Cornia peraltro zona di ricarica dell'acquifero idropotabile.

In ultima analisi, l'area indagata, risulta sensibile all'inquinamento in quasi tutta la sua estensione, sarà quindi necessario predisporre un'adeguato piano di protezione, dell'acquifero sottostante, anche in considerazione della destinazione della risorsa estratta.

12 LA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Il territorio comunale è stato zonizzato in classi di pericolosità che tengono conto dei parametri riportati nella Tavola 4.11 - Carta della Pericolosità per fattori geomorfologici. La

zonazione di pericolosità in relazione alla pericolosità geomorfologia presenta le seguenti classi:

CLASSE 2 - PERICOLOSITÀ BASSA: fanno parte di questa classe tutte quelle aree caratterizzate da situazioni geologico-tecniche apparentemente stabili sulle quale permangono tuttavia dubbi che saranno chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia.

CLASSE 3a - PERICOLOSITA' MEDIA: ne fanno parte le aree nelle quali non sono presenti fenomeni attivi, tuttavia le condizioni geologico-tecniche e morfologiche del sito sono tali da far ritenere che esso si trovi in equilibrio instabile. In queste aree gli interventi possono alterare lo stato di equilibrio e aumentare il livello di pericolosità complessiva del sito.

CLASSE 3b – PERICOLOSITA' MEDIA: ne fanno parte le aree con caratteristiche simili alla Classe 3a ma dove la propensione al dissesto è più evidente o comunque dove si ritenga che eventuali modifiche allo stato di equilibrio possano indurre un dissesto generalizzato dell'area.

CLASSE 3c – PERICOLOSITA' MEDIA: a questa classe appartengono le aree di pianura che per particolari condizioni stratigrafiche, geomeccaniche e di saturazione, costituiscono mediocri terreni di fondazione o che sono storicamente conosciute a seguito di cedimenti differenziali o lesionamenti di strutture o fabbricati.

13 LA PERICOLOSITA' IDRAULICA

13.1 ZONAZIONI DI PERICOLOSITÀ PER FATTORI IDRAULICI

Il territorio comunale è stato zonizzato in classe di pericolosità che tengono conto dei parametri riportati nella Tavola 4.12 - Carta della Pericolosità per fattori idraulici. La zonazione di pericolosità in relazione al rischio idraulico presenta le seguenti classi:

1 – CLASSE 1: PERICOLOSITÀ IRRILEVANTE – Aree collinari e montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
- sono in situazione favorevole di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori di metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine, o in mancanza, al ciglio

2 – CLASSE 2: PERICOLOSITÀ BASSA – Aree di fondovalle o di pedecollina per le quali ricorrono le seguenti

- non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
- sono in situazione di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine, o in mancanza, al ciglio di sponda.

3 – CLASSE 3: PERICOLOSITÀ MEDIA – Aree di fondovalle per le quali ricorre almeno una

delle seguenti condizioni:

- vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
- sono morfologicamente in situazione sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine, o in mancanza, sopra il ciglio di sponda.
- Le verifiche idrauliche effettuate nel quadro conoscitivo non danno garanzia di contenimento della piena con tempo di ritorno 100 o 200 anni.

4 – CLASSE 4: PERICOLOSITÀ IDRAULICA ELEVATA (PIE) – aree di fondovalle identificate dal PAI integrate dal quadro conoscitivo del PS.

5 – CLASSE 4: PERICOLOSITÀ IDRAULICA MOLTO ELEVATA (PIME) – aree di fondovalle identificate dal PAI integrate dal quadro conoscitivo del PS.

AMBITI IDRAULICI (A1, A2, B) – individuati dal Titolo III del Piano di Indirizzo Territoriale

14 TUTELA DELLA RISORSA IDRICA

14.1 ZONAZIONI DI TUTELA DELLA RISORSA IDRICA

Il territorio comunale è stato zonizzato in classi di tutela che tengono conto dei parametri riportati nella Tav. xx – Carta della Tutela della Risorsa Idrica. La zonizzazione di tutela in relazione alla vulnerabilità all'inquinamento e alla protezione della risorsa presenta le seguenti classi:

1. Classe 1 – Tutela Media: rientrano in questa classe le aree in cui la probabilità di contaminazione dell'acquifero sottostante da parte di un inquinante idrotrasportato è bassa a seguito terreni a permeabilità bassa o media e con situazioni morfologiche non di ristagno.
2. Classe 2 – Tutela Alta: sono aree a vulnerabilità alta in base al SINTACS oppure tutte quelle aree a permeabilità medio-alta in situazione morfologiche di pianura o pedecollina
3. Classe 3 – Tutela Elevata: sono aree a vulnerabilità elevata o elevatissima in base al modello parametrico SINTACS oppure tutte quelle aree a permeabilità alta in situazione morfologiche di versante.
4. Classe 4 – Tutela elevatissima: è limitata alla parte alta delle alluvioni del Fiume Cornia ove il calcolo del modello SINTACS ha attribuito la classe elevatissima e a quelle aree a diretto contatto ove la permeabilità sia considerata alta.

5. Zona di Frangia: rappresenta una area di cautela in aree a tutela più bassa di quelle a valle
6. Zone di tutela assoluta attorno ai pozzi e alle sorgenti
7. Zone di rispetto attorno ai pozzi e alle sorgenti
8. Zone di protezione dei pozzi e delle sorgenti
9. Aree di ingressione del cuneo salino
10. Aree per la protezione delle risorse termali