

**Indagini geologico tecniche di supporto  
al Piano Strutturale del Comune di  
Castagneto Carducci**

**PROVINCIA DI LIVORNO**

**INDICE**

Premessa	pag. 2
Metodologia di studio	pag. 3
Inquadramento geologico	pag. 6
Carta delle pendenze	pag. 22
Carta geomorfologica	pag. 23
Carta litotecnica	pag. 25
Carta idrogeologica	pag. 27
Carta della pericolosità geomorfologica	pag. 29
Carta della pericolosità idraulica	pag. 32
Carta della Vulnerabilità idrogeologica	pag. 40
Dati di base	pag. 45
Bibliografia	pag. 47

## **Premessa**

Su incarico della locale **Amministrazione Comunale** è stato eseguito uno studio geologico tecnico di supporto al **Piano Strutturale** del nuovo **P.R.G.**

Lo studio è stato redatto secondo le modalità della **L.R. 1/2005**, della L. 1150/1942 e delle disposizioni contenute nella "circolare" emanata dalla Giunta Regionale della Toscana con propria "Decisione" del 3 Giugno 1996 n. 57, ed eseguito in ottemperanza di quanto prescritto dalla Normativa Vigente:

- **Direttiva Regionale 94/1985** (*Indagini geologico tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica*), emanata in attuazione della **L.R. Toscana n. 21/1984** (*Norme per la formazione e l'adeguamento degli strumenti urbanistici ai fini della prevenzione del rischio sismico*),
- **Delibera Regionale n. 12/00** di approvazione del **Piano di Indirizzo Territoriale** e della successiva circolare applicativa approvata con **Del.G.R. n.868/00**
- **Delibera Giunta Regionale n. 831 del 23/07/2001** di adozione del **Progetto di Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)** per i bacini di rilievo regionale come il Toscana Costa, comprendente il territorio del Comune in oggetto
- **Delibera Consiglio Regionale n° 13/2005** di approvazione del **Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Toscana Costa**

## **Metodologia di studio**

Lo studio si è articolato secondo le seguenti fasi:

- rivisitazione del precedente studio redatto a supporto del Piano Regolatore vigente
- ricerca bibliografica sulle caratteristiche geologiche, morfologiche, geotecniche idrogeologiche e idrauliche inerenti il territorio comunale in argomento
- rilevamento geologico-strutturale di dettaglio dell'intero territorio comunale finalizzato a verificare le informazioni presenti sulla cartografia geologica allegata al precedente Strumento urbanistico e su quella messa a disposizione dalla Provincia di Livorno

- rilevamento geomorfologico di dettaglio dell'intero territorio comunale finalizzato a individuare i principali lineamenti morfologici presenti, con rivisitazione del precedente studio redatto a supporto del Piano Regolatore vigente
- caratterizzazione delle unità litostratigrafiche che costituiscono la struttura geologica sotto il profilo litotecnico, in base alla composizione ed al grado di cementazione dei singoli litotipi
- misurazione nella pianura costiera dei livelli statici di pozzi significativi ai fini della ricostruzione dell'andamento della superficie piezometrica
- caratterizzazione del territorio comunale sulla base delle pendenze dei versanti distinte in 6 classi a diversa acclività
- zonizzazione del territorio eseguita sulla base delle caratteristiche relative alla "pericolosità geomorfologica", alla "pericolosità idraulica" e alla "vulnerabilità idrogeologica"
- raccolta dei dati di base geologici e geotecnici attraverso una ricerca negli archivi dell' Ufficio Tecnico comunale

I tematismi prodotti sono stati realizzati su supporto informatico secondo le specifiche di seguito elencate:

- Carta geologica: il tematismo fornitoci dalla Provincia di Livorno è stato aggiornato e integrato con AutoCAD Map 2000 con il quale è stata ricostruita la topologia a poligoni.
- Carta delle pendenze: l'elaborazione è stata effettuata dal SITI della Provincia di Livorno in Arc Info.
- Carta geomorfologica: il disegno di tutti gli elementi poligonali, lineari e puntuali è stato fatto in AutoCAD Map 2000 con il quale è stata costruita, analogamente alla carta geologica, la topologia.
- Carta idrogeologica: questo tematismo è stato ottenuto con un'operazione di analisi spaziale in Arcview 3.2 a partire dai poligoni contenuti nella carta geologica. Le informazioni sui pozzi sono state sovrapposte come tema puntuale mentre quelle relative alle isofreatiche come tema lineare.

- Carta litotecnica e dei dati di base: la procedura di costruzione è risultata analoga a quella seguita nella carta idrogeologica. Le informazioni puntuali relative ai dati di base sono stati inseriti manualmente in ArcView 3.2.
- Carta di pericolosità geomorfologica: è stata ottenuta tramite un'operazione di analisi spaziale (overlay topologico) tra la carta delle pendenze e quella litotecnica, cui successivamente sono stati sovrapposti i poligoni delle aree instabili e degli alvei.
- Carta di pericolosità idraulica: è stata costruita in AutoCAD Map 2000.
- Carta della Vulnerabilità idrogeologica: è stata ottenuta con un'operazione di analisi spaziale in Arcview 3.2 a partire dai poligoni contenuti nella carta geologica, applicando la metodologia ripresa nell'analoga carta redatta a supporto del P.T.C. della Provincia di Livorno.
- La restituzione finale di tutti i tematismi è stata effettuata dai tecnici dell'Ufficio di Piano in ArcMap 9.

Lo studio geologico-tecnico consta dei seguenti elaborati:

- **Relazione tecnica** descrittiva delle varie carte tematiche prodotte, che sintetizza gli elementi che da esse emergono e che possono rappresentare controindicazioni con limitazioni alle utilizzazioni previste.
- **Carta geologica**, il cui rilevamento si basa su criteri di distinzione litostratigrafica in base alle caratteristiche litologiche, paleontologiche, sedimentologiche, petrografiche, mineralogiche e morfologiche riconoscibili alla scala dell'affioramento, e distinguibili da quelle adiacenti.
- **Carta delle pendenze dei versanti**, distinta per classi di acclività ritenute significative in rapporto al quadro altimetrico locale ed alle "soglie" che rivestono importanza nei confronti della propensione al dissesto dei terreni.
- **Carta geomorfologica**, contenente informazioni sui processi morfologici più rilevanti quali i prodotti di fenomeni erosivi, le scarpate in erosione, i fenomeni di instabilità, le forme dovute ad acque incanalate, le forme e i prodotti di interventi antropici.

- **Carta idrogeologica** indicativa del grado di permeabilità delle varie formazioni presenti, della posizione dei pozzi e delle emergenze naturali della zona, e dell'andamento delle curve isofreatiche all'interno della pianura costiera.
- **Carta litotecnica** contenente le unità che costituiscono la struttura geologica accorpate sotto il profilo litotecnico secondo parametri che consentono di delimitare i terreni che possono manifestare un comportamento meccanico omogeneo.
- **Carta dei dati di base**, si sovrappone alla precedente; indica l'ubicazione delle prove geotecniche in sito, quali sondaggi geognostici, prove penetrometriche statiche e dinamiche e dei pozzi a stratigrafia nota, utilizzate per la caratterizzazione stratigrafica e fisico meccanica dei terreni.
- **Carta della pericolosità geomorfologica** nella quale sono distinte le varie porzioni del territorio comunale ricondotte alle classi di pericolosità previste dalla D.C.R.T. 94/85. Relativamente alle classi Media e Elevata si è proceduto ad una ulteriore suddivisione in due sottoclassi.
- **Carta della pericolosità idraulica** redatta secondo le prescrizioni del P.I.T. (12/00) e sulla base delle perimetrazioni di pericolosità idraulica elevata (P.I.E) e molto elevata (P.I.M.E.) riportate nella "Carta di tutela del territorio" del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino Toscana Costa. Sulla carta sono distinte le aree collinari e di fondovalle riconducibili, per le loro condizioni, alle quattro classi di pericolosità previste dalla D.C.R.T. 94/85: Irrilevante, Bassa, Media, Elevata.
- **Carta della vulnerabilità idrogeologica** redatta secondo la metodologia indicata nella "proposta di legenda unificata per le Carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei" del GNDICI-CNR (Civita, 1994), dalla quale si evince il grado di rischio di inquinamento della falda sotterranea ad opera di eventuali agenti contaminanti.

La **Carta della Fattibilità**, con le relative norme applicative a carattere geologico tecnico ed idraulico, sarà redatta contestualmente alla stesura del Regolamento Urbanistico, successivo alla definizione delle scelte di "piano".

## **Inquadramento geologico**

Le numerose formazioni che costituiscono il territorio del Comune di Castagneto sono riconducibili al *Complesso Neoautoctono*, al *Complesso del Dominio Ligure* e di quello *Toscano*, a loro volta inframezzati da intrusioni del *Complesso Neogenico Magmatico*. All'interno dei vari complessi sono poi distinguibili depositi distinti, a loro volta comprendenti un numero variabile di formazioni. I depositi individuati, dal basso verso l'alto risultano i seguenti.

-**depositi della falda Toscana** che costituiscono il substrato pre-neogenico ed affiorano nella porzione sudorientale del territorio comunale (Monti di Sassetta e Castagneto)

-**depositi del Dominio Ligure** che costituiscono il substrato pre-neogenico, riferibili all'Unità Ofiolitica e a quella Australpina. Affiorano a costituire tutta la porzione collinare e montuosa che borda il territorio comunale ad Est

-**depositi del Neoautoctono Toscano sin-rift** ulteriormente suddivisi in:

- depositi miocenici (modesti affioramenti nella zona di Castiglioncello di Bolgheri)
- depositi plio-pleistocenici (in modesti affioramenti associati ai precedenti);

-**depositi del Neoautoctono Toscano post-rift** pleistocenici. Costituiscono tutta la porzione occidentale pianeggiante del territorio comunale;

-**depositi recenti ed attuali**. Si rinvencono nelle depressioni vallive dei maggiori corsi d'acqua e nella estrema porzione occidentale del territorio comunale, in prossimità della linea di costa.

Di seguito viene fornita una descrizione delle singole formazioni individuate, procedendo da quelle più antiche alle più recenti. La distribuzione delle singole formazioni è ricavabile dalla **Carta Geologica (Tav. 25)** mentre i rapporti di giacitura sono ricavabili nelle sezioni geologiche illustrate nella **Tav. 26**.

## **DEPOSITI DEL DOMINIO TOSCANO**

I depositi appartenenti a questa Unità affiorano nei Monti della Gherardesca, nella porzione sud-orientale del territorio comunale. Si presentano sotto forma di un alto tettonico, emergente al di sotto delle coperture austroalpine, ribassato sul lato orientale

(verso Sassetta) da una serie di faglie dirette, con direzione appenninica. In alcuni affioramenti l'intera successione giurassica soprastante il calcare massiccio è espressa da poche decine di metri di sedimenti ed i singoli termini che la costituiscono ridotti a pochi metri. E' questa la serie condensata.

### **Calcare massiccio (g1)**

Gli affioranti costituiscono la terminazione settentrionale dell'ampio affioramento costituente i più meridionali Monti di Campiglia. La formazione è rappresentata da calcilutiti grigie, massicce, con oncoliti, attraversate da filoni sedimentari di colore rosa. Nella parte alta presenta una modularità sfumata, poco pronunciata e spaziata; a volte sfuma in un calcare bioclastico bianco con venature limonitiche gialle. Il litotipo si è sedimentato nel Giurassico inferiore in un ambiente di piattaforma intraoceanica.

### **Calcarei nodulari rossi con Ammoniti (g2)**

Compare al tetto del calcare massiccio. Si identifica con un calcare di colore da rosa chiaro a rosa scuro, con nodularità sempre più pronunciata verso l'alto. I livelli carbonatici sono spesso inframezzati da livelli di breccie, a loro volta intercalati da veli millimetrici anastomizzati di argilla rossa. Lo spessore è limitato a qualche metro. Caratteristica peculiare è la presenza dell'abbondante fauna fossile (Ammoniti). L'età è riferibile al Giurassico inferiore.

### **Calcarei selciferi (g3)**

La formazione è costituita da calcari grigi, a grana fine, suddivisi in strati di 40-50 cm, contenenti liste e noduli di selce. Fra uno strato e l'altro sono spesso presenti veli argillosi o livelletti di marne. La selce è generalmente presente nella parte centrale di ciascuno strato. Lo spessore della formazione è quantificabile in circa 100 metri, con una decisa omogeneità litologica dal base al tetto. L'età è riferibile al Giurassico inferiore.

### **Successione condensata (gsc)**

Come già anticipato, in alcuni affioramenti l'intera successione giurassica soprastante il calcare massiccio è espressa da poche decine di metri di sedimenti ed i singoli termini che la costituiscono ridotti a pochi metri. E' questa la serie condensata.

Poiché le diverse unità litostratigrafiche non sono rappresentabili singolarmente alla scala della carta, nella carta geologica esse sono state raggruppate sotto un unico colore e contrassegnate da un'unica sigla.

### **Radiolariti (diaspri - g6)**

La formazione è rappresentata da sottili strati di selce (5-15 cm) di colore rosso oppure grigio verde, giallastro e grigio chiaro, separati da veli di argilliti rosse. Lo spessore delle radiolariti è variabile ma generalmente non supera il centinaio di metri. L'età è riferibile al Giurassico superiore.

### **Scaglia toscana**

Compreso normalmente tra le radiolariti ed il macigno oligocenico affiora un insieme di litofacies molto diverse tra loro, riferibili alle seguenti unità:

- marne e calcari marnosi rosso vinato (cem),
- argilliti varicolori (ce),
- siltiti quarzose (ces)
- calcari silicei (cec).

I rapporti tra le citate litofacies sono di natura eteropica, con i termini (cec) e (ces) che ne occupano generalmente la base e con il termine (cem) si ritrova in genere in una posizione medio alta. Un'ottima sezione continua, per uno spessore di oltre 120 metri, è individuabile lungo il Fosso della Carestia, in prossimità del Podere Piastraie. L'età della formazione è riconducibile al Cretaceo superiore (Cenomaniano Huroniano).

### **Scaglia toscana – calcari silicei (cec)**

Occupano per lo più una posizione basale. Si identificano con calcari, calcari marnosi e calcari silicei a grana finissima, di colore grigio piombo o grigio verde, intervallati talvolta da argilliti e marne. Negli strati di maggiore potenza sono frequenti liste o piccoli noduli di selce grigio scuro o nera.

### **Scaglia toscana – siltiti quarzose (ces)**

Sono costituite prevalentemente da siltiti quarzose e quarzolutiti di colore verde chiaro o celeste nelle fratture fresche, e di colore nocciola o rosso ruggine sulle superfici

alterate. Affiorano in strati da molto sottili a sottili, facilmente sfaldabili in piccole lastre parallele alla stratificazione. Intercalati a vari livelli si ritrovano calcari selciferi grigi, simili a quelli dei calcari silicei (cec). Gli spessori sono variabili tra 20 e 70 metri.

#### **Scaglia toscana – argilliti varicolori (ce)**

E' l'unità maggiormente rappresentata e più tipica della scaglia toscana. Mostrano rapporti laterali, normalmente per interdigitazione, con tutti gli altri termini. Si tratta di argilliti di colore molto variabile, tra cui prevale il giallo-verde ed il rosso vinato. Alla sommità sono talvolta presenti limitati affioramenti di calcareniti (Monte Pergoli). Lo spessore è generalmente quantificato in 100-150 metri.

#### **Scaglia toscana – marne e calcari marnosi (cem)**

E' rappresentata quasi esclusivamente da marne e calcari marnosi di colore rosso vinato e rosa intenso, e presenta per questo un aspetto litologico omogeneo.

#### **Flysch arenaceo “Macigno” (O)**

La formazione affiora estesamente ad Est del capoluogo ed a Sud-Est fino all'abitato di Sassetta. E' costituita da arenarie quarzose feldspatiche, a grana medio-grossolana, di colore grigio chiaro in frattura fresca, giallo ocra in quella alterata. Si presenta in strati e banchi gradati, di spessore variabile da 50 cm a 3-4 metri, che sfumano nella parte alta in siltiti di colore grigio-verde scuro. La facies siltitica è particolarmente sviluppata nella parte alta della formazione, come nei dintorni del cimitero di Castagneto Carducci. Lo spessore è variabile a causa degli ingenti fenomeni di laminazione tettonica a cui è stata sottoposta, da un minimo di pochi metri ad un massimo di 400 metri. L'età è riferita all'Oligocene superiore.

### **DEPOSITI DEL DOMINIO AUSTRALPINO**

Si presenta tettonicamente sovrastante all'unità precedente. Affiora nella parte centrale del territorio comunale, a Nord-Est del capoluogo, in località Casavecchia. E' rappresentato da una sola formazione.

**Formazione di Canetolo (e)**

Si presenta in rapporti di sovrapposizione tettonica sulle formazioni del Macigno e della Scaglia. E' sormontata, sempre con contatto tettonico, dalle argilliti e calcareniti con *Phytonella* o dal Flysch di Monteverdi. Fa parte dell'Unità nota con il termine di "Argille e calcari". E' qui costituita in prevalenza da argilliti e siltiti di colore variabile, dal grigio scuro al verdastro, sfaldabili in scaglie e blocchetti centimetrici. Subordinatamente compaiono calcari a grana fine, grigio verdi, debolmente silicei, fittamente attraversati da venature calcitiche, arenarie a grana grossa e calcareniti. L'aspetto giaciturale è in genere caotico. Lo spessore è variabile in funzione dell'elisione tettonica. Esso assume valori tra 25 e 400 metri. L'età è riconducibile all'Eocene.

**DEPOSITI DEL DOMINIO LIGURE**

I depositi appartenenti a questa Unità affiorano nella parte centro orientale del territorio comunale. I depositi in oggetto sono caratterizzati da una complessa situazione strutturale, dovuta almeno a tre fasi deformative duttili ed alle successive deformazioni fragili. Della citata unità ofiolitica del dominio ligure fanno parte le seguenti formazioni.

**Serpentiniti ( $\Sigma$ )**

Affiorano a Nord e a Sud di Castiglioncello di Bolgheri, concentrati in almeno tre grandi nuclei. Sono interpretate come rocce di mantello legate all'apertura del bacino oceanico giurassico Ligure-Piemontese. Costituiscono, insieme ai Gabbri, il basamento della sequenza ofiolitica. Si tratta di ultramafiti che si presentano in masse rocciose costituite da blocchi compatti, da metrici a decametrici, di roccia nero-verdastra, interessati da una rete diffusa di vene di minerali serpentinitici (crisotilo, lizardite), di clorite e di calcite. Nei blocchi compatti meno alterati si riconoscono lherzoliti tettoniche caratterizzate da tessiture protogranulari e tettoniche. Le potenze della formazione non sono determinabili in affioramento. L'età è riferita al giurassico medio e superiore.

**Gabbri (Γ)**

Si osservano in ampi affioramenti distribuiti analogamente alle precedenti serpentiniti. Sono caratterizzati da cristalli chiari di plagioclasio immersi in un aggregato scuro di minerali femici, tra i quali è riconoscibile il clinopirosseno. Si tratta prevalentemente di Mg-gabbri, con paragenesi data da plagioclasio, clinopirosseno ed olivina. All'affioramento si presentano prevalentemente con struttura isotropa e, subordinatamente, con struttura flaser-gabbro. La potenza non è determinabile in affioramento. I gabbri sono interpretati come residui delle camere magmatiche legate all'apertura del bacino oceanico giurassico.

**Diaspri (g)**

Sono ridotti solo a pochi e limitati affioramenti a Sud di Castiglioncello di Bolgheri. Si identificano con una formazione sedimentaria, distribuita in esigui affioramenti che fasciano le principali masse ofiolitiche, con particolare riguardo a quelle basaltiche. I Diaspri sono costituiti da strati silicei di origine organica (radiolariti), alternati a strati pelitici scuri (mudstone silicei). Gli strati silicei hanno spessori da molto sottili a sottili (0.5 - 10 cm). Essi sono prevalentemente di colore rosso fegato (per la presenza di un pigmento ematitico), ma anche bianco. Gli strati pelitici sono caratterizzati da spessori molto sottili e da colore rosso con zonature verdi. Questa unità presenta i caratteri di un sedimento emipelagico deposto direttamente su crosta oceanica. In questa zona la formazione presenta uno spessore ridotto rispetto agli affioramenti dell'Appennino Ligure, e non supera mai i 10-20 metri. L'età è comunemente riferita al Giurassico superiore (Oxfordiano superiore-Titoniano inferiore).

**Calcari a Calpionella (c1)**

Costituiscono la struttura del colle di Castiglioncello di Bolgheri. I Calcari a Calpionelle sono costituiti da strati, con spessori variabili, di calcilutiti di colore grigio chiaro, che acquisiscono un tipico colore bianco-latte sulle superfici di alterazione, oppure rosa chiaro in prossimità del contatto con i Diaspri. In alcuni casi si osserva l'intercalazione di strati sottili di argilliti scure nella parte basale della formazione. In altri casi il passaggio tra Diaspri e Calcari a Calpionelle è marcato da strati medio-spessi di

marne beige chiaro. Lo spessore massimo è quantificato in 80-90 metri. L'ambiente di sedimentazione è di tipo marino pelagico. Sono datati al Cretaceo inferiore.

### **Argilloscisti e calcari a Palombini (c2)**

Le Argille a Palombini affiorano ad Est di Bolgheri, nella porzione nord orientale del territorio comunale. Essi danno generalmente origine ad una coltre pedogenetica prevalentemente argillosa che mascherano l'aspetto originario della formazione. Gli affioramenti che presentano le caratteristiche litologiche originarie si possono invece osservare prevalentemente nelle incisioni di vari torrenti e botri o in coincidenza delle cerniere dei crinali. La formazione è costituita da un'alternanza di strati torbiditici calcarei, calcareo-marnosi, calcareo-silicei. Gli strati calcareo silicei ("Palombini") hanno spessori che generalmente variano da pochi centimetri ad un metro. Sono di solito a grana finissima e presentano, in assenza di alterazione, un colore grigio. Gli strati marnosi presentano spessori da sottili a medi e grana fine o medio-fine. All'interno degli strati calcarei-marnosi-silicei sono state riconosciute strutture sedimentarie che testimoniano la natura torbiditica del deposito. Le emipelagiti sono costituite da argilliti di colore grigio scuro-nero prive di  $\text{CaCO}_3$ , con potenze che variano fino a raggiungere i 2 metri di potenza. Lo spessore totale della formazione è mal definibile per l'elevata deformazione, sia duttile che fragile, che l'ha interessata. Si presume in ogni modo una potenza massima di 200 metri. L'età è riferita al Cretaceo inferiore.

### **Flysch arenaceo marnoso di Castelluccio (c7') e brecce ad elementi ofiolitici, calcarei e diasprigni (bc7')**

Il flysch arenaceo marnoso di Castelluccio affiora estesamente nella zona tra Bolgheri e Sassa, nella porzione settentrionale del territorio comunale di Castagneto, al di sopra di un substrato rappresentato essenzialmente da ofioliti. La formazione contiene prevalentemente nella parte basale il membro delle **brecce ad elementi ofiolitici calcarei e diasprigni (bc7')**. Si tratta di un flysch ad Helmintoidi, caratterizzato da un deciso sviluppo dell'intervallo arenitico dalla presenza costante delle citate brecce. La successione più significativa si identifica in una serie di sequenze torbiditiche, di spessore compreso tra pochi decimetri e 1-2 metri, in ciascuna delle quali si passa da un'arenaria fillosilicatica gradata alla base ad una siltite ed infine ad una marna o

calcare marnoso al tetto. Qui talvolta si può ritrovare anche un piccolo spessore di argilla marnoso. Una caratteristica della formazione è poi la citata presenza di brecce, distribuite in maniera non uniforme. Queste si identificano con brecce poligeniche i cui elementi, soprattutto ofiolitici, derivano dalle formazioni liguri. Le dimensioni dei clasti sono molto variabili. La matrice è costituita da arenarie grossolane. Il cemento è calcareo. Le masse di maggiori dimensioni sono state cartografate. L'età della formazione è riferita al cretaceo superiore.

#### **Argilliti e calcareniti con *Phytonella* (c6)**

La formazione affiora in concordanza alla base del flysch di Monteverdi. Si ritrova nella zona di Casavecchia, a Nord-Est di Castagneto, sul versante meridionale del colle del capoluogo e nella parte meridionale del territorio comunale. E' costituita da siltiti, laminiti ed argille grigie, in cui si intercalano strati lentiformi, decimetrici, di calcari detritici, di calciluti e di marne. La potenza complessiva della formazione non è definibile poiché non ne affiora mai la base. Essa è comunque ritenuta superiore a 100 metri. L'età è riferita al Cretaceo superiore (Cenomaniano).

#### **Flysch calcareo marnoso di Monteverdi Marittimo (c7) e brecce ad elementi ofiolitici e calcarei (bc7)**

La formazione sormonta la precedente e costituisce la quasi totalità della porzione sud-orientale del territorio comunale. Si presenta costituita da sequenze torbiditiche arenaceo, calcareo marnose, anche molto potenti, in cui sono scarsamente rappresentati i litotipi a granulometria più grossa. Il rapporto arenaria/pelite è nettamente a favore di quest'ultima. La base delle sequenze è generalmente costituita da calcari detritici o da arenarie calcarifere con laminazione piano parallela. Gli strati arenacei passano verso l'alto ad una marna (o ad un calcare marnoso) e poi ad una siltite che sfuma a sua volta in un'argillite. Nella parte alta della formazione, presso il Fosso dell'Olmaia, sono presenti **brecce ofiolitifere**. Nei casi in cui queste raggiungono spessori e potenze importanti esse sono cartografate distintamente (bc7). Gli elementi delle brecce sono di dimensioni variabili, dal centimetro ad alcuni decimetri, di natura ofiolitica, calcarea e di diasprigna, e provengono dal Complesso ligure. Lo spessore

della formazione è stimato in 500-600 metro. L'età è riferita al cretaceo superiore (Campaniano-Maastrichtiano).

### **Formazione di Podere Castellano (pe1)**

Affiora in una vasta zona ad est di Castiglioncello di Bolgheri e nei Monti della Gherardesca. La formazione si identifica con sequenza torbiditiche di spessore variabile, rappresentate da un'arenaria carbonatica che passa gradualmente a siltiti ed argilliti. Subordinatamente si hanno calcari fini, calcari marnosi e arenarie ofiolitiche con spessori di circa 2 metri. Talvolta all'interno della formazione si rinvengono poi sia areniti ofiolitiche che breccie ofiolitiche a granulometria varia. Lo spessore massimo è stimabile in 150 m. L'età è attribuita al Paleocene medio - Eocene inferiore.

### **NEOAUTOCTONO TOSCANO, depositi SIN RIFT *Depositi miocenici***

#### **Argille a Pycnodonta (m5)**

Si identifica con un unico affioramento in prossimità de Le Fornaci. Si tratta di limi giallo chiari e limi argillosi grigi, laminati con faune oligotipiche (Pycnodonta navicularis ed Amusium). L'ambiente deposizionale è lagunare-salmastro per la parte limosa, e marino per quella prevalentemente argillosa. Lo spessore medio è di 30 metri. L'età è il Messiniano inf.

#### **Argille e gessi (m7)**

Affiorano al piede occidentale dei Monti della Gherardesca nel piccolissimo affioramento circa 500 metri a monte di La Fornace. Sono presenti il gesso laminare, il gesso microcristallino (alabastro) e le gessoareniti. Lo spessore aumenta da Sud a Nord da 25 a 100 metri. L'ambiente deposizionale è salmastro (il cosiddetto "lago-mare"). L'età è il Messiniano superiore.

**Conglomerato di Montebamboli (m8)**

Affiora nella porzione sud-occidentale del territorio comunale, ad Ovest della Torre di Donoratico. La formazione è formata in prevalenza da ciottoli calcarei provenienti dalle formazioni liguri ed austroalpine, di colore grigio, localmente arrossati, medio-fini, matrice sostenuti, ben sortiti. I clasti sono subarrotondati. E' presente una stratificazione pianoparallela ed intercalazioni di limi marnosi grigi con livelli microconglomeratici. L'ambiente deposizionale è deltizio retrogradante. Lo spessore è di qualche decina di metri. L'età è riferibile al Messiniano superiore.

**NEOAUTOCTONO TOSCANO, depositi SIN RIFT *Depositi pliocenici*****Conglomerato della Trasgressione pliocenica (pc)**

Affiorano nella stessa area delle argille a Pycnodonta, al piede occidentale dei Monti della Gherardesca. Si identifica con strati di ciottoli diversamente cementati, eterometrici ed eterogenei, a matrice sabbiosa o siltoso argillosa. L'ambiente deposizionale è il marino litoraneo. Lo spessore è modesto, limitato a pochi metri. L'età è il Pliocene inferiore.

**Argille azzurre (p)**

Affiorano in associazione alle formazioni mioceniche (località Le Fornaci). Sono argille grigio azzurre e limi argillosi grigio nocciola. Nella parte alta sono presenti livelli lenticolari di calcisiltiti e calcareniti grigio scure. La malacofauna presente è data da Glycymeris, Turritella, Tellina, Natica e Murex ed è particolarmente abbondante nella parte alta della successione. Lo spessore è di circa 100 metri. L'ambiente è il marino, da neritico a batiale superiore. L'età è riconducibile al Pliocene inferiore e medio.

## **NEOAUTOCTONO TOSCANO, depositi POST RIFT**

### **Formazione di Bibbona (q5)**

Affiora a Sud dell'abitato di Bolgheri. Il corpo sedimentario costituisce un insieme assai variabile lateralmente e verticalmente di calcareniti sabbiose diversamente cementate, di sabbie a varia granulometria e vario grado di addensamento, e di conglomerati a matrice sabbiosa e calcareo detritica. Strati e banchi hanno andamento lenticolare, spesso con ulteriore suddivisione in lamine pianoparallele o sigmoidali, incrociate specialmente nella frazione sabbiosa. Le areniti contengono quarzo, litici, frammenti di gusci ed intraclasti carbonatici (ooliti-oncoliti), hanno stratificazione incrociata piana e a *lisca di pesce*. I conglomerati hanno ciottoli provenienti da tutte le formazioni delle Unità Liguri, di dimensioni assai diverse, pur nell'ambito delle medio piccole, e ben selezionati. Si presentano spesso in plaghe di uguale misura. In prevalenza la loro forma è "a piattella" ben accentuata. E' noto il ritrovamento di "choppers" uni e bifacciali (Galiberti, 1974,1982) riferiti al ciclo della "Pebble culture". I rapporti giacitureali alla base sono di discordanza angolare in aree adiacenti a quella in esame, e di generale concordanza in quest'ultima. La formazione riflette un ambiente di deposizione di spiaggia sommersa ed emersa. Lo spessore è assai modesto e non supera i 30 metri. L'età è riconducibile al Pleistocene inferiore (Siciliano).

### **Conglomerati di Bolgheri (q6)**

Affiorano nella stessa regione della sottostante Formazione di Bibbona, sia a Sud che a Nord dell'abitato di Bolgheri. Si tratta di un corpo sedimentario costituito da conglomerati bruno rossastri, ad elementi molto eterometrici, spesso anche grossolani, in cui si riconoscono i tipi litologici delle formazioni dell'Alloctono Ligure cui si aggiunge il calcedonio ed il plagiogranito. La matrice inglobante, anch'essa rossastra, è eterogenea sia in percentuale sia in distribuzione laterale e verticale. Essa è in genere sabbiosa, pur essendo presente una certa componente argillosa in quantità variabile. La stratificazione è in genere piuttosto disordinata, talora inclinata, mentre la potenza originaria è

difficilmente valutabile. In base alle caratteristiche sedimentologiche questi depositi sono riconducibili ad un ambiente di delta fluviale e presentano sia zone di deposizione subacquea che zone di deposizione continentale. In queste ultime si notano paleosuoli riferibili ad *ultisuoli* secondo la classificazione USDA (1975) (Mazzanti & Sanesi, 1987). Canalizzano le arenite della Formazione di Bibbona. Presentano, per quanto detto, variazioni nell'accumulo a seconda delle località, ma la loro potenza può essere valutata al massimo in non più di una ventina di metri. L'età è riferita al Pleistocene medio.

### **Sabbie di Val di Gori (q7)**

Sono presenti nella porzione settentrionale del territorio comunale. Si tratta di sabbie di colore rosso vivo, con notevole scheletro argilloso e assetto massivo, talora con ciottoli sparsi, ben arrotondati da 2 a 4 cm. di diametro. Sono presenti lenti di sabbie più grossolane, agglutinate in calcareniti, e lenti interessate dal passaggio di dilavamenti colluviali, con il conseguente deposito di materiali più grossolani, fino alla formazione di lenti alluvionali di conglomerati. Gran parte della formazione è interessata da un'intensa pedogenesi con suoli riferibili ad *Alfisuoli palexeralfs* (Mazzanti & Sanesi, 1987) che richiedono un'evoluzione in un clima caldo-umido verosimilmente corrispondente all'ultimo interglaciale. Si sovrappongono trasgressivamente sui Conglomerati di Bolgheri e sui depositi più antichi. Si tratta di un deposito d'ambiente di sedimentazione continentale, con azioni miste in prevalenza colluviali ed eoliche, e temporanei episodi torrentizi là dove affiorano estesamente i ciottoli sparsi, riconducibile al Pleistocene medio. Lo spessore degli affioramenti individuati è limitato a 5 – 20 metri.

### **Calcareniti sabbiose (q8)**

Si tratta di un sedimento di natura litoide; si ritrova in abbondanza nella pianura di Donoratico, sotto le omonime sabbie rosse, oppure inframmezzato e semisepolto dalle dune attuali o antiche. Gli affioramenti più consistenti sono stretti e lunghi e fiancheggiano le dune del litorale attuale. Lo spessore è limitato a pochi metri. L'età è riferibile al Pleistocene superiore.

### **Sabbie rosso arancio di Donoratico (q9)**

Costituisce il litotipo percentualmente più rappresentato nel territorio comunale, costituente di fatto il substrato di tutta la pianura costiera a Sud della Fosso della Carestia Vecchia (Viale di Bolgheri). La formazione si presenta costituita da sabbie massive, di colore rosso-arancio, a granulometria fine e/o molto fine, prive di strutture interne e di resti fossili. Si tratta di un deposito d'ambiente di sedimentazione continentale, non omogeneo, in cui si possono riconoscere varie facies, fra cui quella eolica, quella di spiaggia, quella colluviale e quella di piana d'esondazione fluviale. Molto variabile con la distribuzione areale è poi la componente limosa e/o argillosa. Lo spessore varia nell'ordine delle decine di metri, perché anch'esse poggiano su un substrato morfologico inciso. La formazione è databile al Pleistocene superiore.

Nella pianura sono riconoscibili tre fasi di trasgressione glacioeustatica ciascuna seguita da una fase continentale, caratterizzate da sedimenti distribuiti su un terrazzo che raggiunge quote massime di 15 metri s.l.m. La fase trasgressiva è rappresentata dalla sedimentazione di calcareniti sabbiose (q8), la fase continentale dalla deposizione delle sabbie rosso-arancio (q9). I livelli calcarenitici corrispondenti ai tre cicli trasgressivi del Tirreniano sono conosciuti nella letteratura con i nomi di *Panchina di Castiglioncello* – Bartoletti et alii, 1986 (Tirreniano I), *Calcareniti sabbiose di Baratti* - Barsotti et alii, 1974 (Tirreniano II), *Calcareniti sabbiose di Biserno* – Mazzanti et alii, 1981 (Tirreniano III). Nel comune di Castagneto C.cci in affioramento sono riconoscibili soltanto le calcareniti corrispondenti all'ultimo ciclo (Tirreniano III), mentre le altre sono presenti nel sottosuolo e risultano dai numerosi sondaggi effettuati nella pianura. Le sabbie rosso-arancio, corrispondenti alle fasi continentali successive alle trasgressioni, risultano indivisibili in quanto i caratteri litologici, la presenza di suoli e l'utilizzo agricolo che ne ha profondamente modificato i caratteri naturali, non consentono di effettuare alcuna distinzione.

### **Ghiaie e sabbie di Quadrelle (q10)**

La formazione in esame affiora tra il Fosso delle Tane, nel Comune di Bibbona e il Fosso della Carestia Vecchia nel Comune di Castagneto. Si tratta di coni alluvionali molto piatti, costituiti da sabbie e ghiaie di elaborazione fluviale, depositi allo sbocco in pianura dei numerosi paleotorrenti che provenivano dalle colline interne ricche di ciottoli. Sono considerate eteropiche delle sabbie rosso arancio di Donoratico. L'età è riconducibile al Pleistocene superiore.

### **COMPLESO MAGMATICO NEOGENICO**

Il complesso magmatico neogenico affiora nella parte meridionale del territorio comunale. Esso è rappresentato nella sua globalità da rocce intrusive (qui assenti) effusive e filoniane.

### **Vulcaniti di San Vincenzo ( $\lambda$ )**

Affiorano in maniera discontinua a costituire le colline a Nord-Est dell'abitato di San Vincenzo. Si identificano con un litotipo lapideo, non stratificato, di colore grigio, databile al Miocene e al Pliocene. Le vulcaniti di San Vincenzo sono costituite da una facies che Lotti (1910) descrive come una **trachite** grigia, finemente granulare, massiccia. In lavori più recenti (Ferrara ed altri, 1989) il litotipo è stato classificato come una **riolite**, una roccia effusiva acida, derivante da un magma anatectico.

### **Filoni di porfido granitico ( $\pi$ )**

I porfidi granitici si estendono a costituire un sistema vicariante allineato in direzione Nord-Sud, individuabile ad Ovest del Poggio alla Trave, all'interno del Calcere massiccio e nella parte più settentrionale nella Scaglia toscana. Riprendendo quanto indicato da Barberi, tale sistema è costituito da porfidi quarzomonzonitici con caratteri petrografici abbastanza uniformi. Presentano una struttura porfirica, e contengono fenocristalli di plagioclasio, quarzo, feldspato potassico, biotite e cordierite, quest'ultima sempre trasformata in prodotti cloritici.

## **DEPOSITI RECENTI ED ATTUALI**

### **Depositi alluvionali in terrazzi (at)**

Si identificano con depositi ghiaiosi e sabbiosi che formano terrazzi posti a quote superiori a quelli dei fondovalle attuali, in quanto relativi ad una rete idrografica non dissimile dall'attuale ma distribuita ad una quota superiore. Lo spessore è ridotto a pochi metri. L'età è Olocene.

### **Depositi alluvionali di fondovalle (a)**

Sono identificati con questo termine tutti i depositi posti al fondo delle valli attuali. Sono in genere costituiti da alternanze di sabbie limose e limi argillosi con livelli e lenti ghiaioso-sabbiose. I depositi alluvionali principali si identificano con quelli del Fossa di Bolgheri, dove raggiungono anche spessori di 10 metri. Le alluvioni mostrano una stratificazione piuttosto complessa, inclinata o lenticolare. Lo spessore è variabile, in genere ridotto a pochi metri. L'età è riferita all'Olocene.

### **Depositi palustri e di colmata (qt)**

Sono costituiti da limi e argille grigie e nere, plastiche, ricche di apporto fossile, ad indicare un ambiente privo d'ossigeno, tipico di una facies paludosa. I litotipi descritti sono ottimi indicatori della paleogeografia della zona. Dietro ai cordoni delle barre costiere si estendevano ampie aree paludose, che venivano riempite da sedimenti a granulometria fine e d'ambiente euxinico. Il bacino palustre si estendeva verso nord a partire dalla confluenza fra il Fosso dei Molini e la Fossa di Bolgheri, mentre si chiudeva in prossimità della località Olmaia. L'età è Olocene.

### **Sabbie dei cordoni dunari (sd)**

Sono rappresentate da sabbie fini, di colore bruno intenso, con granuli omogenei, caratterizzate da un elevato grado di compattazione e da uno spessore variabile. Tali sedimenti, derivati dall'accumulo eolico a partire dal limite della spiaggia emersa, tendono a diminuire in spessore, fino ad annullarsi, man mano che ci si allontana dalla linea di costa, per l'effetto progressivamente minore dell'azione eolica.

Costituiscono i tomboli costieri che si elevano fino a 10-15 metri s.l.m., e che si addentrano nell'interno per qualche decina di metri. L'età è l'Olocene.

### **Spiaggia attuale (s)**

E' formata da sabbie fini, omogenee, di colore bruno o grigio. La linea di riva è variabile in funzione dell'entità ondosa del mare. L'età è l'Olocene

### **Sezioni Geologiche**

Sulla base delle conoscenze acquisite in seguito al rilevamento geologico e, in accordo con i modelli proposti da Costantini *et alii* (1990), sono state ricostruite cinque sezioni geologiche allo scopo di mettere in evidenza i rapporti stratigrafici e giaciture delle formazioni affioranti e i rapporti esistenti tra queste e il loro substrato o complesso di base. Il risultato è visibile nella **Tavola 26** nella quale le sezioni sono numerate da Nord a Sud. Le sezioni n°4 e n°5 sono state ricostruite nella pianura, sulla base dei dati risultanti da sei sondaggi di cui è nota la stratigrafia, allo scopo di evidenziare non solo i rapporti stratigrafici ma anche gli spessori delle formazioni presenti. In particolare, queste sezioni hanno lo scopo di mettere in evidenza, per quanto possibile, la presenza dei diversi cicli eustatici ed i rapporti tra le sabbie rosso-arancio (q9) e i sedimenti calcarentici (q8).

### **Carta delle pendenze**

La carta delle pendenze (**Tav. 27**) distingue cinque classi di acclività, come indicato nella Del. Reg. 94/85. Tale carta è stata costruita suddividendo la pendenza dei versanti in cinque classi:

- Classe 1      pendenza da 0% al 10%
- Classe 2      pendenza dal 10% al 15%
- Classe 3      pendenza dal 15% al 25%
- Classe 4      pendenza dal 25 al 35%
- Classe 5      pendenza maggiore del 35%

La carta è stata eseguita dal SITI (Sistema Informativo Territoriale) della Provincia di Livorno attraverso un processo di elaborazione automatico. Il programma utilizzato, sulla base delle curve di livello in formato vettoriale aventi un'equidistanza di 10 metri, e dei punti quotati suddivide il territorio in poligoni chiusi, ciascuno dei quali rappresenta una specifica classe di pendenza. Nell'elaborazione della classi è stato imposto di non considerare i poligoni di estensione inferiore o uguale a 500 mq., al fine di eliminare un numero elevato di poligoni di superficie trascurabile per la restituzione alla scala 1:10.000 che avrebbero appesantito la carta impedendone una chiara lettura.

Successivamente, essendo l'estensione della classe 1 (0-10%) molto ampia in quanto comprendente tutta la pianura costiera, e quindi quasi il 50% del territorio, per questa è stata eseguita un'ulteriore suddivisione in due sottoclassi:

- sottoclasse 1.1            pendenza dal 0 al 5%
- sottoclasse 1.2            pendenza dal 5 al 10%

## **Carta geomorfologica**

Il territorio del Comune di Castagneto presenta una morfologia decisamente divergente contrassegnata da una porzione orientale in cui si evidenziano le caratteristiche prettamente collinari fino alle montuose, e la porzione occidentale caratterizzata da una morfologia pianeggiante, piatta, monotona.

Il limite tra le due zone risulta estremamente netto, coincidente con una decisa rottura di pendio in tutta la porzione meridionale del territorio, dal confine con il Comune di San Vincenzo a sud fino alla Fossa di Bolgheri a nord. Da qui, proseguendo verso nord, il limite diviene invece sfumato, passando dalle quote monotone della pianura a forme penepianate, contrassegnate da altezze anche di 70/80 metri s.l.m., per poi passare alle vere e proprie aree di collina o montuose, ma senza una netto lineamento discontinuo.

La pianura costiera presenta una forma triangolare, molto stretta al limite meridionale del Comune, dove si riduce a poche decine di metri, fino a raggiungere una

vasta estensione in coincidenza della porzione centrale, dove sorge l'abitato di Donoratico, e di quella settentrionale. Data la forma mediamente rettangolare del territorio comunale la variazione dell'estensione della pianura è complementare a quella della morfologia collinare e montuosa. Questa è infatti decisa a sud, in coincidenza dei Monti delle Gherardesca, mentre si riduce a nord, dove va a costituire la dorsale collinare che forma lo spartiacque con la valle dello Torrente Sterza.

Il margine occidentale del territorio è poi caratterizzato dai lineamenti tipici dell'ambiente di costa bassa, con un'ampia fascia dunale e un lungo cordone di spiaggia. La spiaggia emersa è definita come la fascia compresa tra la linea di riva ed il limite della prima duna. Presenta un'ampiezza variabile tra 40 e 100 metri e quote comprese tra gli 0.00 metri della battigia ed un massimo di 2.20/2.40 metri del limite orientale. Progredendo verso l'interno, sono evidenti il cordone dunale, costituito da una serie di dune circolari o ellittiche, che raggiungono altezze variabili, in media intorno ai 10 metri s.l.m. Generalmente sono preponderanti le dune di forma allungata secondo la direttrice nord-sud, parallela alla linea di riva. Ad est, il tombolo si raccorda con un'area mediamente pianeggiante, coincidente con la zona retrodunale che sfuma a sua volta nella descritta pianura costiera.

Per la stesura della carta geomorfologica (**Tav. n° 28**) si è dapprima consultato lo Studio Geologico relativo al Piano Regolatore vigente e successivamente si è proceduto all'analisi delle foto aeree e ad un accurato rilevamento diretto sul terreno. Gli elementi geomorfologici emersi dalla seguente indagine, sono stati raggruppati in distinte categorie.

### **Forme e depositi di versante**

A questo raggruppamento appartengono le più importanti forme di instabilità, cioè i movimenti franosi, le scarpate di degradazione ed i depositi detritici. Una particolare attenzione è stata posta nel rilevamento delle frane che, come si evince anche dall'analisi della carta in oggetto, si sviluppano preferenzialmente all'interno delle coperture detritiche e dei terreni argillosi (sia Neoautoctoni che Liguri). Nel primo caso i dissesti si identificano prevalentemente in dissesti di tipo colamento, interessanti la

copertura detritica del sottostante substrato litoide, mentre nel secondo si riflettono con frane ancora di colamento limitate allo strato eluviale argilloso rimaneggiato.

Sono stati distinti i movimenti **franosì attivi**, caratterizzati da manifeste situazioni di dissesto attivo, dalle aree interessate da **frane quiescenti** e dalle **aree caratterizzate da forme e depositi associati a dissesti inattivi (relitti)**. Con il primo termine sono stati identificati quei movimenti franosi che mostrano una temporanea situazione di riposo, di inattività o di ritrovato equilibrio. Le condizioni sono però tali da non poter escludere la possibilità di un riattivarsi del dissesto. Con il termine relitto si sono invece identificate quelle situazioni in cui è palese come il movimento franoso si sia completamente esaurito e come il materiale disarticolato sia stato del tutto scaricato verso valle e successivamente asportato dagli agenti esogeni.

La distinzione è stata fatta per ogni singolo dissesto seguendo un criterio di pendenza in relazione alla soglia critica della classe litotecnica, alla litologia e alla giacitura. Se a monte o nel corpo in dissesto è presente una sorgente questa favorirà la rimessa in moto. L'area interessata è stata pertanto considerata quiescente. Per gli stessi motivi tutte le frane che presentano al loro interno un corso d'acqua sono state considerate quiescenti, in quanto l'erosione associata al deflusso potrà favorire l'instabilità. Sono state poi considerate aree interessate da intensi fenomeni erosivi le aree di erosione fluviale interne o adiacenti ad aree in frana.

Sulla carta morfologica sono state inoltre individuate le **aree di influenza** relativamente ai fenomeni franosi attivi, a quelli quiescenti e ai fenomeni erosivi intensi, come indicato all'art. 16 delle Norme del PAI Bacino Toscana Costa. Le aree di influenza sono state individuate caso per caso, valutando l'acclività e l'omogeneità litologica, e adottando fra i vari criteri indicati per le aree in dissesto quello ritenuto il più confacente. Nel caso di una frana, la zona d'influenza è stata condotta fino a comprendere una scarpata a monte, se presente; in altri casi è stata protratta fino all'eventuale contatto litologico; in altri casi fino alla sommità del crinale.

Le aree di influenza sono state identificate a monte delle frane e non lateralmente o a valle. Tutte le frane rilevate (attive o quiescenti) terminano infatti in corrispondenza di un botro. La zona a valle non potrà quindi essere interessata dal corpo di frana, essendo l'accumulo progressivamente dilavato ed asportato dal corso d'acqua. Per la tipologia stessa dei movimenti franosi non si ha poi coinvolgimento delle aree laterali, lungo le quali si ha solo scorrimento.

Si ritiene infine corretto evidenziare come la valutazione del perimetro delle frane quiescenti, per la metodologia sovente adottata (considerazioni morfologiche e trasposizione cartografica in base all'andamento delle isoipse) e per la scala della cartografia, è da considerare sicuramente cautelativa rispetto al perimetro minimo interessato dal potenziale dissesto. Ne deriva quindi che sicuramente ogni area definita in frana comprende già una parte di aree di influenza, a tutto vantaggio della eventuale riduzione del rischio.

Anche le scarpate rappresentano un elemento morfologico molto importante. Per questo sono state messe in risalto cercando di individuarne la tipologia che si identifica costantemente in una forma *inattiva*, rappresentante cioè una rottura di pendio in equilibrio.

### **Forme e depositi fluviali e di dilavamento**

In questa categoria sono state inserite tutte quelle forme riconducibili, in qualche modo, all'azione erosiva delle acque. Pertanto vi ritroviamo le scarpate di erosione fluviale, le forme di dilavamento (su versante) concentrato e diffuso, ed i depositi alluvionali di fondovalle, questi ultimi particolarmente significativi dal punto di vista morfologico in quanto individuano aree pressoché pianeggianti. Nella porzione occidentale del territorio caratterizzata dai depositi palustri (ambiente di retroduna delimitato ad est dal tratto terminale del Botro dei Mulini) sono state poi indicate alcune aste paleofluviali, riprese dalla cartografia associata allo S.U. Vigente, alcune delle quali confermate da indagini geognostiche di dettaglio nel frattempo eseguite a supporto di interventi privati.

### **Forme e depositi antropici**

In questo raggruppamento sono stati inseriti gli invasi, le aree estrattive (non attive) i terrazzamenti, i quali rappresentano forme di rilevante importanza poiché spesso contribuiscono alla stabilità di un pendio e una zona destinata a discarica, ubicata al margine con il comune di San Vincenzo.

### **Reticolo idrografico**

L'intero reticolo idrografico è stato individuato nella carta geomorfologica, distinguendo i corsi d'acqua principali dai fossi, capofossi e scoline. I corsi d'acqua principali indicati con il colore blu intenso sulla cartografia coincidono con **il reticolo riferimento del PAI** indicato sulla cartografia allegata alla Del. Reg. 13 del 25.01.2005. Gli altri costituiscono il reticolo secondario e sono stati estratti dalla cartografia tecnica regionale,

La maggior parte dei corsi d'acqua defluenti sul territorio comunale prende origine dalla sommità del crinale collinare montuoso presente ad oriente e, con un trend diretto preferenzialmente est-ovest, solca la pianura costiera per dirigersi direttamente al mare o confluire in corsi d'acqua di dimensioni maggiori. L'uniformità della fascia sabbiosa dell'arenile è infatti interrotta dalle incisioni dei fossi che si riversano in mare. Procedendo da nord a sud essi sono: la Fossa Cammilla, il Fosso della Carestia Vecchia, il Fosso dell'Acqua Calda e il Fosso dei Fichi. Lo sbocco in mare non è costante durante il corso dell'anno. Spesso la foce viene chiusa dal cordone sabbioso della spiaggia. Ne deriva che lo sbocco non presenta sempre una direzione ortogonale alla linea di costa, come documentato anche cartograficamente. Lo sbocco a mare viene poi ripristinato in occasione degli episodi di piena.

Solo alcuni corsi d'acqua (Fosso Nero, Botro Rivivo, Fosso di Campo al Fico e Fosso di Colleulivo) defluenti nella zona montuosa ad est di Castiglioncello di Bolgheri, oltre lo spartiacque morfologico tra la pianura costiera e la valle del Torrente Sterza, presentano un trend diretto verso est, andando appunto a confluire nel Torrente Sterza, che segna per un lungo tratto il confine con il Comune di Monteverdi Marittimo.

## Carta litotecnica

Ogni classe della carta litotecnica (**Tav. 30**) identifica una distinta litologia, indipendentemente dall'età e dalla posizione stratigrafica. E' stata costruita su base geologica, raggruppando le formazioni della Carta Geologica aventi caratteristiche geomeccaniche simili in **sei** classi litotecniche:

- **Classe I - formazioni coerenti di elevata e media resistenza:** corrisponde ai litotipi rocciosi e comprende le rocce ofiolitiche (gabbri e serpentine), i diaspri, i calcari a calpionelle, e i flysch calcareo marnosi appartenenti al dominio ligure, le rocce calcaree ed il macigno della serie toscana, e le formazioni del complesso vulcanico. La classe è rappresentata da sedimenti di natura litoide, affioranti direttamente in superficie o ricoperti solo da un livello corticale terrigeno di alterazione.
- **Classe II - formazioni semicoerenti e conglomeratiche:** sono state inserite in questa classe le formazioni con grado di addensamento variabile costituite da alternanze irregolari di livelli sabbiosi e calcarei e/o calcarenitici, mostranti rapporti di proporzione variabili e passaggi eteropici tra le varie litologie, e le formazioni conglomeratiche, rappresentate mediamente da litotipi con valido grado di cementazione, spesso ricoperte solo da uno spessore superficiale di materiale sciolto, derivante dall'alterazione del livello litoide sottostante.
- **Classe III - formazioni incoerenti sabbiose:** comprende i depositi manifestamente di natura sabbiosa, riconducibili al quaternario, e i depositi alluvionali. Coincidono con i litotipi sciolti, caratterizzati da grado di addensamento molto variabile.
- **Classe IV - formazioni coerenti di scarsa resistenza:** sono state inserite in questa classe formazioni caratterizzate da livelli o porzioni litoidi, intercalati o frammisti a livelli di natura argillosa, che ne riducono le proprietà meccaniche, condizionandone quindi il comportamento generale. Rientrano in questo gruppo le breccie delle formazioni litoidi, i cui clasti sono immersi in una matrice quasi sempre argillosa, la formazione gessosa, caratterizzata da livelli e blocchi lapidei immersi in matrice argillosa, le formazioni flyscioidi dei Palombini e di Canetolo, caratterizzate da livelli calcarei alteranti in maniera caotica ad importanti strati argilloscisti e le facies argillitiche della scaglia toscana.

- Classe V - **formazioni pseudocoerenti argillose**: comprende i depositi manifestamente di natura argillosa.
- Classe VI - **formazioni limoso argillose**: la classe è stata istituita appositamente per contraddistinguere i depositi palustri presenti nella zona di retroduna a est dell'abitato di Marina di Castagneto. Coincidono con depositi di natura limosa, ricchi di sostanza organica, con bassissime proprietà meccaniche ed elevata tendenza al costipamento.

Nella tabella seguente sono indicate le **sei classi litotecniche** descritte in precedenza e indicate le sigle delle formazioni geologiche che ciascuna di esse comprende.

<b>Classe litotecnica</b>	<b>Sigla bibliografia</b>
<b>I</b>	g1, g2, g3, g6, gsc, cec, O, Σ, T, g, c1, λ, π, c7, c7', pe1
<b>II</b>	m8, pc, q5, q8
<b>III</b>	q6, q7, q9, q10, a, at, sd, s
<b>IV</b>	ces, ce, cem, e, c2, bc7, bc7', c6, m7
<b>V</b>	m5, p,
<b>VI</b>	qt

Per i litotipi prevalentemente sabbiosi ed argillosi, in base alla distribuzione delle frane in relazione alla pendenza dei versanti e all'angolo di attrito interno, attribuito dalla letteratura ai singoli materiali costituenti l'unità litologica, è stata individuata per ciascuna classe litotecnica una **soglia di pendenza**, oltre la quale vi è una maggiore propensione al dissesto.

L'individuazione di una franosità potenzialmente elevata sulla base dell'acclività del versante non è stata invece condotta per le formazioni lapidee (classe litotecniche **I** e **IV**), dal momento che la franosità è condizionata fortemente dall'assetto e dalla distribuzione delle discontinuità, che si identificano con fattori difficilmente valutabili in uno studio condotto su vasta scala. Relativamente alla classe litotecnica IV, data la

presenza di situazioni di strati eluviali e di materiale detritico su tale litologia, e il condizionamento meccanico imputabile alla caotica distribuzione della frazione argillosa, è stata assunta una **pendenza critica** del versante pari al 15%.

<b>Classe litotecnica</b>	<b>Soglia di pendenza</b>	<b>Pendenza critica</b>
<b>I</b>		
<b>II</b>	75% (37°)	
<b>III</b>	50% (26.5°)	
<b>IV</b>		15% (8,5°)
<b>V</b>	25% (14°)	
<b>VI</b>		

### Carta idrogeologica

Nella carta idrogeologica (**Tav. 29**) le formazioni sono state divise in base al tipo di permeabilità, distinguendo una permeabilità per porosità (**primaria**), una permeabilità per fessurazione (**secondaria**) e una permeabilità sia per porosità che per fessurazione (**mista**). Ogni tipo è stato poi ulteriormente suddiviso in base al **grado** di permeabilità (basso, medio, alto) secondo la seguente tabella.

<i>Grado</i> \ <i>Tipo</i>	<i>Primaria</i>	<i>Secondaria</i>	<i>Mista</i>
	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>M</i>
<i>Alto</i>	<i>s, sd, at, q10, q9, bc7, bc7'</i>	<i>Σ, Γ, π, g1, g2, g3, g6, gsc, cec, c1</i>	<i>q5, q6, q8</i>
<i>Medio</i>	<i>a, q7</i>	<i>λ, O, c7, c7' pe1</i>	<i>m8, pc, c6,e</i>
<i>Basso</i>	<i>qt</i>		<i>c2, m7, cem, ce, ces</i>
<i>Impermeabili</i>	<i>p, m5</i>		

**Permeabilità primaria di grado basso:** la classe si identifica con i sedimenti palustri (qt) di natura prevalentemente argilloso-limosa con intercalazioni di sabbie di modesto spessore. Affiorano nel settore Nord Occidentale in posizione retrostante il cordone dunale e costituiscono acquiferi di scarsa importanza.

**Permeabilità primaria di grado medio:** la classe comprende i sedimenti alluvionali recenti depositati nelle incisioni vallive dei principali corsi d'acqua e le sabbie di origine continentale appartenenti alla Formazione delle Sabbie di Val di Gori. Nei sedimenti alluvionali, generalmente, nella parte più profonda sono presenti livelli discontinui di ghiaie a matrice sabbiosa di spessore variabile. Tali orizzonti sono sede di falde idriche caratterizzate da discreta trasmissività, utilizzate anche per scopi potabili. La parte più superficiale del deposito è invece costituita da limi e argille a bassissima permeabilità con intercalazioni di ghiaie. I depositi sabbiosi continentali costituiscono affioramenti di estensione limitata e di esiguo spessore tali da costituire acquiferi di media potenzialità.

**Permeabilità primaria di grado alto:** la classe comprende le sabbie della spiaggia e delle dune, le rocce clastiche (breccie sedimentarie) originatesi per diagenesi di detriti rocciosi e costituite da elementi immersi in una matrice fine, i depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie e sabbie e, infine, le sabbie continentali che caratterizzano la piana di Donoratico. Quest'ultime costituiscono l'acquifero più importante e produttivo della pianura dal quale attingono sia il campo pozzi del pubblico acquedotto che i numerosi pozzi ad uso irriguo.

**Permeabilità secondaria di grado alto:** appartengono a questo raggruppamento le formazioni rocciose, sia della falda toscana che dell'alloctono ligure. Risultano discretamente permeabili quando intensamente fratturati. Possono costituire acquiferi di una certa importanza dando luogo a sorgenti utilizzate anche per usi potabili.

**Permeabilità secondaria di grado medio:** appartengono a questo raggruppamento le formazioni flyschoidi, caratterizzate da un'elevata permeabilità proporzionale al grado di fratturazione che tende a diminuire con la profondità a causa della frazione argillosa derivante dall'alterazione del litotipo che tende a chiudere le fratture stesse.

**Permeabilità mista di grado basso:** rientrano in questa classe gli argilloscisti a Palombini, le argille con interstrati di gesso e le facies argillitiche della scaglia toscana. La permeabilità d'insieme è molto bassa. La circolazione di acqua, seppure limitata, è

circoscritta agli strati calcareo-marnosi, se intensamente fratturati, e agli strati di gesso. Non costituiscono acquiferi di una certa importanza.

**Permeabilità mista di grado medio:** comprendono i conglomerati e le arenarie caratterizzate da fratturazione non intensa e priva di continuità.

**Permeabilità mista di grado alto:** rientrano in questo gruppo le calcareniti organogene e i conglomerati permeabili per fratturazione. Tali litotipi sono dotati di una buona permeabilità e sono sede di importanti acquiferi utilizzati anche per scopi potabili.

**Sedimenti impermeabili:** sedimenti a prevalente composizione argillosa caratterizzati da una permeabilità nulla e quindi dall'assenza di circolazione idrica.

## **Assetto idrogeologico e qualità delle acque**

Nella Carta idrogeologica sono state riportate le derivazioni sotterranee (pozzi) e le sorgenti presenti all'interno del territorio comunale. Le prime sono state estratte dall'Archivio del Demanio Idrico della Provincia di Livorno e rappresentano captazioni sotterranee per gli usi previsti dalla Legge N.36/94 (*Disposizioni in materia di risorse idriche*). Le emergenze superficiali ovvero le sorgenti sono state estratte dal censimento messo a disposizione dalla Società ASA S.p.A.

I pozzi conosciuti ammontano a 885 e risultano concentrati nella pianura costiera e nella fascia pedecollinare. Di questi circa il 60% risultano ad *uso domestico* e circa il 30% ad *uso irriguo*. L'*uso igienico-assimilati*, comprendente anche l'uso antincendio, l'*uso industriale* e quello *ittico-attrezzature sportive* rappresentano nel complesso il rimanente 10%.

In corrispondenza dell'abitato di Donoratico e di Marina di Donoratico i pozzi sono prevalentemente di tipo romano, caratterizzati da largo diametro e da limitata profondità. L'utilizzo è prevalentemente domestico (innaffiamento di orti e giardini) con portate limitate. Nell'ultimo decennio, molti di questi pozzi non risultano più produttivi nella stagione estiva. I pozzi ad uso irriguo sono generalmente di tipo artesiani,

attingono dalla falda profonda (30-40 mt.) e garantiscono portate costanti ed elevate dell'ordine di 100-150 l/min.

I pozzi gestiti dalla Società ASA per l'approvvigionamento del pubblico acquedotto ammontano a 17 e sono distribuiti nei Campi pozzi di *Marina, Belvedere, Campi al Mare, Ambra*. Sulla base dei dati forniteci dalla Società ASA emerge che una parte dei pozzi risulta funzionante solo nei periodi estivi. Inoltre, le portate erogate dai singoli pozzi non risultano costanti ma variabili nell'arco della giornata e dell'anno. Accade, infatti, che le portate di esercizio, e quindi i volumi totali emunti, siano dipendenti dalla richiesta istantanea della rete. I consumi massimi si registrano quindi nei periodi estivi e in determinate fasce orarie.

Nel settore collinare le derivazioni sotterranee sono rare e prevalentemente di largo diametro e profondità massima dell'ordine di 10 metri. Le sorgenti risultano presenti nel settore sud-orientale all'interno delle formazioni rocciose caratterizzate da permeabilità secondaria media ed elevata.

Ai fini della ricostruzione della superficie freatica dell'acquifero multistrato costiero si è provveduto ad effettuare la misurazione del livello piezometrico in condizioni statiche (assenza di pompaggio in atto) in un campione ammontante a 70 pozzi, distribuiti uniformemente all'interno della pianura. Si tratta prevalentemente di pozzi privati ad uso domestico e irriguo ed in misura minore di pozzi potabili che approvvigionano la rete civica gestita da ASA. Sulla base delle misure piezometriche riportate al livello del mare relative al mese di Agosto 2005 è stata ricostruita la superficie piezometrica tramite l'applicazione di un modello matematico tipo *GRID*. Nella Carta idrogeologica è riportato l'andamento delle isopieze con equidistanza di 1 metro. Dall'andamento generale si osserva la presenza di un'area caratterizzata da livelli piezometrici al di sotto del livello marino (-2 m) con massima depressione in corrispondenza dell'abitato di Marina di Castagneto. Tale depressione, che non si spinge molto all'interno, è riconducibile all'intenso sfruttamento della falda dal Campo pozzi ASA (Marina) durante il periodo estivo. Si rilevano zone di alto piezometrico con livelli massimi intorno a +40 metri ai bordi dei rilievi collinari con gradienti molto più

pronunciati rispetto alla zona di pianura. In quest'ultima i livelli variano da un minimo di 0 ad un massimo di circa 20 metri con un gradiente decisamente meno pronunciato rispetto alla zona pedecollinare. In quest'ultima, l'elevato gradiente è riconducibile all'elevato spessore e quindi alla buona trasmissività dell'acquifero.

Per quanto riguarda una valutazione generale del chimismo delle acque vengono analizzati i dati forniti dalla Società ASA S.p.A relativamente al *Controllo piezometrico e chimico-fisico della falda costiera del territorio comunale* risalente al Ottobre 2001. In particolare, sono state analizzate le concentrazioni di cloruri e nitrati in quanto i primi testimoniano il fenomeno di ingressione marina nelle acque di falda e i secondi sono indice di un inquinamento dovuto all'attività agricola.

Sulla base dei tematismi elaborati dalla Società ASA si osserva che le aree contaminate, con concentrazioni di cloruri superiori a 200 mg/l, sono limitate alla zona di Marina di Donoratico. In particolare, è presente una sola area che si estende dalla linea di costa per circa 1600 metri con concentrazioni maggiori di 500 mg/l delimitata da una fascia perimetrale con valori di concentrazione compresi tra 200 e 500 mg/l.

Relativamente alla concentrazione dei nitrati, le aree che presentano criticità (concentrazione > 50 mg/l) risultano diffusamente estese all'interno della pianura costiera ad est della linea ferroviaria Pisa-Roma. In particolare, le aree a concentrazione anomala corrispondono all'abitato di Donoratico, al settore sud del territorio comunale e alla zona di Bolgheri.

### **Carta della pericolosità geomorfologica**

Relativamente a questo tematismo, sono state prodotte due distinte carte: una redatta secondo i criteri introdotti dalla Del. Reg. 94/85 (**Tavola 31**) e l'altra redatta in adeguamento all'art. 16 delle Norme del Piano di Bacino Toscana Costa (**Tavola 32**).

**Pericolosità geomorfologica ai sensi della Del. Reg. 94/85**

Nella **Tavola 31** è riportata la carta della pericolosità geomorfologica le cui classi sono quelle previste dalla D.C.R. 94/85, con le due a maggior livello di rischio ulteriormente suddivise in due sottoclassi. Rispetto alla sopracitata delibera non è stata presa in esame la pericolosità irrilevante (classe 1) in quanto sulla base della metodologia adottata tale classe sarebbe stata attribuita soltanto ai settori caratterizzati da formazioni coerenti di elevata resistenza e morfologia pianeggiante. Tali settori sarebbero risultati molto limitati sia nella distribuzione che nella estensione, e sempre coincidenti con aree poste alla sommità di rilievi generalmente boscati.

- classe 2 - pericolosità bassa - corrisponde a situazioni geologico-tecniche e morfologiche apparentemente stabili, sulle quali però permangono dubbi che possono essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione delle singole trasformazioni; in essa ricadono le aree di fondovalle o di altopiano con sottosuolo costituito da terreni di buone caratteristiche geotecniche, nonché le aree su versante con pendenze inferiori al 15 per cento, distanti da scarpate, nicchie ed accumuli di frana.
- classe 3 - pericolosità media
  - sottoclasse 3a - in essa ricadono le aree acclivi, con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche favorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi, pur possibili, coinvolgono porzioni di territorio di ampiezza limitata, e altresì le aree della pianura alluvionale con sottosuolo eterogeneo.
  - sottoclasse 3b - in essa ricadono le aree acclivi con caratteristiche geomorfologiche, stratigrafiche e litotecniche sfavorevoli alla stabilità, per cui i fenomeni franosi si manifestano coinvolgendo ampie porzioni di territorio e di sottosuolo e le frane indicate come dissesti relitti.

- classe 4 - pericolosità elevata
  - sottoclasse 4a - in essa ricadono le aree coinvolte in passato da fenomeni franosi che attualmente risultano in condizioni di quiescenza o di inattività (paleofrane).
  - sottoclasse 4b – riguarda le aree interessate da fenomeni di erosione e sedimentazione, quali gli alvei naturali attuali, e da dissesti attivi (frane recenti o in atto).

La Carta della Pericolosità risulta costruita dall'unione di due criteri distinti. Il primo momento corrisponde al risultato della sovrapposizione della carta litotecnica con la carta della pendenze, ottenuta in modo automatico tramite un'operazione di overlay topologico, cioè tramite un'operazione spaziale che crea un nuovo tematismo dalla sovrapposizione di due o più tematismi esistenti. Il criterio usato è riassunto e deducibile dalla tabella seguente.

Classi litotecniche	Classi di Pendenza				
	0<p<10%	10<p<15%	15<p<25%	25<p<35%	p>35%
I	2	2	3a	3a	3a
II	2	2	3a	3a	3a
III	2	2	3a	3a	3b
IV	2	2	3b	3b	3b
V	2	3a	3a	3b	3b
VI	3b				
<b>Classi di Pericolosità geomorfologica</b>					

La classificazione derivante dall'esatta applicazione della tabella precedente è stata integrata dalle seguenti considerazioni:

- il limite tra 3a e 3b relativamente alla classe litotecnica III è stato fatto coincidere con la pendenza del 35% in quanto la relativa soglia (50%) si sarebbe riflessa in una classe di acclività non presa in esame in questo lavoro, perché non prevista dalla D.C.R. 94/85;

- ai depositi alluvionali recenti (classe litotecnica III) è stata assegnata la classe di pericolosità 3a, anche per valori di pendenza inferiori al 15%, come invece assunto per la classe litotecnica di appartenenza, in maniera da poter affrontare in fase progettuale le problematiche legate alla potenziale eterogeneità litologica insita dei depositi stessi
- ai depositi palustri (classe litotecnica VI) è stata assegnata la classe di pericolosità 3b, data la documentata tendenza al costipamento del litotipo
- relativamente alle sabbie della spiaggia e del cordone dunare è stato invece riproposta la classificazione indicata nella Variante Parziale allo S.U.G. definita come Piano di Utilizzazione dell'Arenile. In considerazione delle caratteristiche litotecniche dei sedimenti presenti, e considerando che la fascia costiera del Comune di Castagneto non è soggetta a situazioni di erosione, l'unica fonte di pericolo è rappresentata dalle potenziali mareggiate. E' stato pertanto fatto riferimento al valore di altezza d'onda massima (Hs), calcolata per un tempo di ritorno di 50 anni la cui altezza, con significato cautelativo, è stata stabilita in 1.81 metri. Tramite la cartografia aerofotogrammetrica in scala 1.2.000 è stato possibile ricostruire l'andamento altimetrico della spiaggia. Sulla cartografia è evidente l'isoipsa dei 2.0 metri s.l.m.. Si nota come al piede della duna la spiaggia raggiunga mediamente quote variabili tra 2.20 e 2.50 metri s.l.m.. Attraverso l'interpolazione grafica dell'isoipsa dei 2.0 mt. è stata tracciata quella di 1.81 mt. s.l.m.. Successivamente è stata attribuita una **pericolosità medio elevata** (sottoclasse 3b) alla fascia di arenile posta a quote superiori a quella di riferimento, ed una **pericolosità elevata** (classe 4b) all'arenile caratterizzato da quote inferiori, compreso tra la citata isoipsa e la battigia. Relativamente alla zona dunare, non essendo documentate situazioni di ablazione, è stata infine attribuita una **pericolosità bassa** (classe 2).

Al tematismo così ottenuto è stato poi sovrapposto quello delle **aree instabili**, definite nella illustrazione della carta morfologica. Ai lineamenti delle citate aree instabili è stato quindi assegnato un peso assoluto, che si è andato a sovrapporre a quello derivante dall'overlay definito in precedenza, indipendentemente dalla classe litotecnica e/o di acclività. In particolare le classi di pericolosità adottate per le coperture detritiche

e per le aree in frana (attive o inattive) sono sintetizzate di seguito. Le aree definite di influenza relativamente ai fenomeni franosi attivi, a quelli quiescenti e ai fenomeni erosivi intensi, come indicato all'art. 16 delle Norme del PAI Bacino Toscana Costa sono state inserite in classe 3b. Nella classe 4b sono infine stati inseriti gli alvei di tutti i maggiori corsi d'acqua.

<b>Lineamento instabile</b>	<b>Classe di pericolosità</b>
Coperture detritiche	<b>3b</b>
Frane relitte	<b>3b</b>
Aree di influenza	<b>3b</b>
Frane quiescenti	<b>4a</b>
Frane attive	<b>4b</b>

Riassumendo, si ottiene che l'attribuzione della classe di pericolosità 2 e 3a deriva esclusivamente dalla combinazione delle proprietà litotecniche delle formazioni costituenti il substrato con la pendenza del versante di affioramento, mentre le classi 4a e 4b derivano esclusivamente da criteri di natura morfologica, coincidendo con un'area soggetta a frana (attiva o quiescente), con il talweg di un corso d'acqua o con la zona di spiaggia bassa. L'attribuzione della classe 3b comprende invece sia aree derivanti dalla combinazione di criteri litotecnici e di acclività che aree evidenziate come potenzialmente in dissesto (coperture detritiche e frane relitte).

Dall'esame del tematismo in oggetto si evidenzia come la maggior parte del territorio comunale sia caratterizzato da situazioni di manifesta stabilità (classi 2 e 3a). Le aree potenzialmente instabili sono concentrate nella porzione collinare boscosa. La stragrande maggioranza dei dissesti censiti si identifica con frane quiescenti, interessanti la coltre rimaneggiata, posizionate generalmente in zone boscate. Quelle ubicate in aree urbanisticamente significative si identificano con i dissesti interessanti il versante occidentale del crinale di Segalari e la vallata centrale della località Casavecchia. Le frane attive sono estremamente limitate in numero. Tra queste le importanti sono quella presente sul lato sud del colle di Castagneto (già oggetto nella sua parte sommitale, adiacente l'abitato, di alcuni interventi di consolidamento e bonifica

da parte dell'ex Genio Civile, e di altri nella parte inferiore, interessata dalla Strada Provinciale, da parte della Amministrazione comunale), il dissesto presente in località Casavecchia presso Casa Bertinelli, e il recente dissesto che interseca la strada vicinale di Caccia al Piano. Di particolare interesse le forme definite relitte che interessano i versanti del colle di Castagneto. Dalle osservazioni alla scala di dettaglio risulta come tali movimenti siano del tutto esauriti e come affiori sovente il substrato roccioso specialmente in coincidenza delle alzate dei numerosi terrazzamenti impegnati in oliveto.

### ***Pericolosità geomorfologica ai sensi dell'art. 16 del PAI***

Il tematismo in oggetto rappresentato nella **Tav.32** è stato redatto secondo quanto indicato all'art. 16 delle Norme di Piano del PAI del Bacino Toscana Costa.

In essa sono distinte solo due classi, come previsto dal PAI stesso (P.F.E. e P.F.M.E.). Ricadono in P.F.M.E. tutte le frane attive e le relative aree di influenza. Rientrano in classe P.F.E. le frane quiescenti e le relative aree di influenza, le scarpate di erosione attiva e le relative aree di influenza, le zona di erosione fluviale interne o associate a movimenti franosi.

### **Carta della pericolosità idraulica**

Relativamente a questo tematismo, sono state prodotte tre distinte carte: una redatta secondo i criteri introdotti dalla Del. Reg. 12/00 (**Tav. 33**), una seconda che riporta pedissequamente la perimetrazione del PAI del Bacino Toscana Costa, ai sensi della Del. Reg. 831/01 (**Tav. 34**) ed una terza redatta ai sensi dell'art. 16 delle Norme del Piano di Bacino Toscana Costa (**Tavo. 35**).

***Pericolosità idraulica ai sensi della Del. Reg. 12/00***

La **Tavola 33** articola il territorio oggetto del Piano Strutturale nelle classi di pericolosità di cui al punto 3.1 della D.C.R. 94/85, in merito alle aree soggette ad esondazione o ristagno, seguendo le indicazioni dell'Art. 80 della Del. Reg. 12/00.

classe 1 - pericolosità irrilevante - riguarda le aree collinari o montuose prossime ai corsi d'acqua per le quali non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni e sono in situazione favorevole di alto morfologico; in esse sono giudicati impossibili eventi di esondazione o sommersione.

classe 2 - pericolosità bassa - riguarda le aree di fondovalle per le quali non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni e sono in situazione favorevole di alto morfologico.

classe 3 - pericolosità media - riguarda le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorre almeno una delle due condizioni citate:

- vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni
- sono in situazione sfavorevole di alto morfologico.

classe 4 - pericolosità elevata - riguarda le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrono entrambe le condizioni citate al punto precedente.

In coincidenza della porzione meridionale del territorio comunale, là dove il limite tra la pianura e la zona collinare è identificato da una netta rottura di pendio, la distinzione tra le classi 1 e 2 è stata univocamente posizionabile. Nel settore a nord della Fossa di Bolgheri invece, data la già citata assenza di una rottura di pendio netta, il limite morfologico fra pianura e area collinare è stato individuato interpolando le informazioni morfologiche e geologiche. Esso è stato fatto corrispondere all'isoipsa dei 50 m s.l.m., in quanto mediamente coincidente con il contatto tra le Sabbie di Val di Gori (depositi colluviali e fluviali di raccordo tra i rilievi collinari e la piana costiera) e i Conglomerati di Bolgheri (depositi marini morfologicamente più elevati).

Per la suddivisione nelle ulteriori tre classi di pericolosità sono state successivamente individuate le due condizioni fondamentali:

- **posizione di alto morfologico con quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al ciglio di sponda del corso d'acqua o al piede esterno dell'argine**
- **testimonianza storica di inondazione.**

E' stata pertanto costruita la linea che unisce i punti posti ad una quota elevata di 2 metri rispetto a quella del ciglio di sponda dei corsi d'acqua presenti, compatibilmente con la precisione consentita dalla base cartografica a disposizione, operando un controllo in coincidenza dei settori più incerti. Le notizie e le testimonianze raccolte sulla presenza o meno di zone oggetto di episodi esondativi in tempi storici non sono ritenute sufficientemente omogenee come distribuzione. **Sono pertanto state considerate oggetto di allagamento e/o esondazione (in tempi storici) tutte quelle aree inserite nella perimetrazione della Del. Reg. 831/01, essendo questo il criterio seguito per la redazione della suddetta cartografia.**

In conseguenza di quanto sopra, rientrano in **classe 3** (pericolosità media) quelle aree per le quali ricorre almeno una delle due condizioni citate (situazione morfologica sfavorevole, notizie storiche di inondazioni). Rientrano in **classe 2** (pericolosità bassa) le zone per le quali non ne ricorre alcuna, e in **classe 4** (pericolosità elevata) quelle dove ricorrono entrambe.

Come già avvenuto per la pericolosità geomorfologica, per la pericolosità idraulica della zona costiera sono stati confermati i criteri adottati nella Variante Parziale allo S.U.G. definita come Piano di Utilizzazione dell'Arenile:

- La zona dunare rientra in classe 2.
- L'alveo dei fossi ed il cuneo ampio 90° allo sbocco di questi sull'arenile ricadono in classe 4.
- In base ai criteri espressi in precedenza, tutto l'arenile ricadrebbe in classe 3: mancanza di testimonianze di esondazioni storiche ma situazione morfologica sfavorevole. Data la realtà di spiaggia coincidente con lo sbocco al mare dei fossi, il rischio di allagamento dovuto all'esondazione dei corsi d'acqua è di fatto nullo. A conferma di quanto sopra, si evidenzia come la zona dell'arenile non sia

compresa nella perimetrazione della Del. Reg. 831/01 che individua le aree soggette a pericolosità idraulica elevata. La situazione non è contemplata nella casistica stabilita dalle Deliberazioni Regionali vigenti. Tale area è stata pertanto ritenuta **non classificabile** in base ai criteri della normativa vigente. Sotto il profilo del rischio idraulico la fascia dell'arenile non viene quindi considerata.

Tutta la pianura costiera circostante l'abitato di Donoratico è censita a pericolosità media (classe 3). L'attribuzione deriva dalla posizione morfologica. L'effettivo rischio idraulico è invece basso. Il Comune di Castagneto C.cci ha commissionato uno studio idraulico sul corso del Botro dei Molini, finalizzato ad individuare una serie di interventi per la sua manutenzione straordinaria. Tutte le sezioni idrauliche poste a monte dell'attraversamento della ex Statale Aurelia e della ferrovia Roma-Genova verificano infatti le portate del corso d'acqua per episodi esondativi duecentennale.

Le aree soggette ad esondazione interessano tutta la fascia retrodunare a nord della Provinciale per Marina di Castagneto. Urbanisticamente risulta significativa solo l'area adiacente a Marina di Castagneto. A tale proposito sono già stati eseguiti alcuni studi idrologico-idraulici, mentre altri sono in corso di esecuzione, finalizzati a migliorare la realtà idraulica del contesto e a mettere in sicurezza parte dei terreni.

### ***Pericolosità idraulica ai sensi del PAI del Bacino Toscana Costa***

La **Tavola 34** riporta fedelmente la perimetrazione introdotta dalla Carta di Tutela del Territorio, a seguito della Del. Reg. 1330/2004. Ampie zone pianeggianti del territorio comunale sono comprese nella perimetrazione dettata dal Piano Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino Toscana Costa. Le aree perimetrate ai sensi del D.L. 180/1998 sono soggette a:

- pericolosità idraulica elevata (P.I.E)
- pericolosità idraulica molto elevata (P.I.M.E.)

Tali aree sono perimetrate in relazione alle specifiche condizioni idrauliche e idrogeologiche, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione contro presumibili effetti

dannosi di interventi antropici. La perimetrazione rappresenta un **vincolo sovraordinato** rispetto alle classi di pericolosità idraulica indicate nel presente lavoro. In conseguenza di questo, i futuri possibili interventi ricadenti in tali aree saranno soggetti alle **norme di piano** introdotte dalla Del. Reg. 1330 del 20.12.2004 ed approvate con Del. Cos. Reg. n° 13 del 25.01.2005.

### ***Pericolosità idraulica ai sensi dell'art. 16 del PAI***

Il tematismo in oggetto rappresentato nella **Tavola 35** è stato redatto secondo quanto indicato all'art. 16 delle Norme di Piano del PAI del Bacino Toscana Costa. Tutte le aree classificate a pericolosità idraulica ai sensi del PAI Toscana Costa sono riproposte. Sulla cartografia inoltre indicata il perimetro delle aree posta a Marina di Donoratico, il località Olmaia e Seggio, comprese tra il Botro dei Molini ad est e la pineta marittima ad ovest, che saranno messe in sicurezza idraulica relativamente ad episodi esondativi duecentennale da parte del Botro dei Molini. Tali interventi di messa in sicurezza sono già stati definiti secondo le modalità dei progetti presentati (***Studio idrologico-idraulico e Progetto preliminare per la sistemazione idraulica del Botro dei Molini e collettori limitrofi per la messa in sicurezza delle aree sottese in Località Marina di Castagneto, Ing. G. Colombi***). I progetti relativi ai due distinti stralci indicati nella cartografia risultano OMOLOGATI dall'Ufficio Regionale per la Tutela del Territorio di Livorno con nota 200/07/2004.

La Normativa di riferimento per la presenza di fasce di tutela per i corsi d'acqua è il R.D. 523 del 1904. In esso si parla di un'ampiezza di 10 metri di tutela da tutti i corsi d'acqua dichiarati pubblici. Pur non essendo ancora stato fornito dalla competente Autorità un elenco preciso o un criterio identificativo, si ritiene che debbano essere considerati pubblici almeno tutti i corsi d'acqua individuati nella carta morfologica come reticolo primario e confermato in questo tematismo come reticolo di riferimento del PAI.

## Carta della Vulnerabilità idrogeologica

In considerazione dell'importanza della risorsa idrica sotterranea e della necessità di adottare misure di salvaguardia della stessa, sono state analizzate le condizioni di vulnerabilità dei corpi idrici sotterranei del territorio comunale. Ai fini della valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, intesa come la suscettibilità dello stesso ad ingerire e diffondere un inquinante liquido o idroveicolato, sono state seguite le indicazioni metodologiche contenute nel **Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Livorno** approvato con Delibera.... il quale, a sua volta, trae ispirazione dalla **“Proposta di legenda unificata per le Carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei” del GNDCI-CNR (Civita, 1994)**, alla quale si rimanda per una definizione dettagliata della procedura adottata.

La stesura della Carta di Vulnerabilità idrogeologica (**Tavola 36**) si è avvalsa di una procedura automatica. In primo luogo le formazioni individuate nella carta geologica sono state suddivise in distinti raggruppamenti, ciascuno caratterizzato da un omogeneo comportamento idrogeologico conseguente il carattere litotecnico. L'elemento discriminante è rappresentato dalla permeabilità a cui viene sommato l'effetto della omogeneità dell'ammasso del litotipo. Dalla combinazione delle diverse tipologie di permeabilità con l'entità assoluta della stessa deriva, per tutte le formazioni geologiche, una classificazione litotecnica finalizzata alla valutazione del possibile diverso grado di vulnerabilità idrogeologica. La classificazione è rappresentata nella tabella seguente ripresa fedelmente dalla metodologia introdotta dal Civita.:

<b>Classi</b>	<b>Definizione</b>	<b>Formazione geologica</b>
<b>I</b>	<i>Formazioni incoerenti inomogenee sabbioso-argillose prevalentemente permeabili</i>	<i>a</i>
<b>II</b>	<i>Formazioni sabbioso-ghiaiose con grado di cementazione variabile ad elevata permeabilità</i>	<i>m8, at, pc, q5, q6, q7, q8, q9, q10, s, sd</i>
<b>III</b>	<i>Formazioni carbonatiche fessurate omogenee di permeabilità elevata</i>	<i>c1, g1, g2, g3, gsc</i>
<b>IV</b>	<i>Formazioni incoerenti inomogenee argilloso-limose di scarsa permeabilità</i>	<i>t</i>
<b>V</b>	<i>Formazioni coerenti omogenee fratturate di permeabilità elevata ed inomogenee prevalentemente permeabili</i>	<i>g, g6, S, λ, π, G, bc7, bc7'</i>
<b>VII</b>	<i>Formazioni coerenti omogenee conglomeratico-arenacee con matrice sabbiosa e calcareo-marmose di</i>	<i>O, c7, c7', ces, pe1</i>

	<i>permeabilità media</i>	
<b>VIII</b>	<i>Formazioni flyschioidi argilloso-marnose di permeabilità medio-bassa</i>	<i>c2, c6, cec, cem, e</i>
<b>IX</b>	<i>Formazioni pseudocoerenti argillose di permeabilità molto bassa</i>	<i>ce, m5, m7, p</i>

Non è stata introdotta la classe VI in quanto non rappresentata da alcuna litologia presente sul territorio comunale.

Alle classi sopra elencate è stato associato uno specifico grado di Vulnerabilità Idrogeologica con il significato di pericolosità ovvero della **suscettibilità dei sistemi idrogeologici sotterranei a subire un decadimento qualitativo in seguito al verificarsi di un evento di contaminazione**. Ne è derivata una zonazione del territorio tale da evidenziare, in funzione delle caratteristiche dei terreni in superficie e delle condizioni idrogeologiche del sottosuolo, la possibilità di penetrazione e diffusione di un inquinante nell'acquifero soggiacente. Le classi di vulnerabilità idrogeologica, a cui è stato attribuito il significato di pericolosità, sono 4; nella tabella seguente sono rappresentati i raggruppamenti idrogeologici e la relativa classe di vulnerabilità idrogeologica.

<b>Classi</b>	<b>Classi di vulnerabilità idrogeologica</b>
<b>VIII, IX</b>	1
<b>VII</b>	2
<b>IV, V</b>	3
<b>I, II, III</b>	4

Alle classi di vulnerabilità idrogeologica è stato assegnato il significato seguente:

**Classe 1- Vulnerabilità irrilevante:** riguarda le aree in cui la risorsa idrica non è presente, essendo i terreni praticamente privi di circolazione idrica sotterranea, per cui gli eventuali inquinanti raggiungono direttamente le vicine acque superficiali o ristagnano sul terreno; in essa ricadono i complessi marnoso-argillosi, quelli argilloscistosi e argillosi sovraconsolidati.

**Classe 2 - Vulnerabilità bassa:** corrisponde a situazioni in cui la risorsa idrica è apparentemente non vulnerabile in base a considerazione riguardanti la natura degli

eventuali acquiferi e quella dei terreni di copertura; in essa ricadono i sistemi acquiferi in arenarie, complessi conglomeratico-arenacei e calcareo-marnosi caratterizzati da permeabilità variabile da medio a bassa a seconda dell'omogeneità del sistema di fratturazione e della percentuale di materiali di natura marnoso-argillosi presenti.

**Classe 3 - Vulnerabilità media:** corrisponde a situazioni in cui la risorsa idrica considerata presenta un grado di protezione mediocre. Nella zona di pianura vi ricadono i sedimenti palustri sede di un acquifero semiconfinato, caratterizzato da notevole anisotropia ed eterogeneità e privo di protezione in superficie; nelle zone collinari vi ricadono i sistemi acquiferi liberi in rocce cristalline fratturate caratterizzati da scarsa protezione di suolo e di insaturo, da elevata capacità di ingestione e media capacità di flusso. In quest'ultimi acquiferi la vulnerabilità varia, anche notevolmente, a seconda dello stato di fratturazione e alterazione: più elevata nelle vulcaniti, in particolare nei basalti, a causa del clivaggio e della scarsa alterabilità.

**Classe 4 - Vulnerabilità elevata:** corrisponde a situazioni in cui la risorsa idrica considerata è esposta, cioè in cui si possono ipotizzare tempi estremamente bassi di penetrazione e di propagazione in falda di eventuali inquinanti. In essa ricadono le zone di ricarica di acquiferi liberi in rocce prevalentemente carbonatiche, fessurate e più o meno carsificate, con soggiacenza notevole, forte acclività superficiale e scarsa copertura e l'intera area di pianura costiera fino alla fascia pedecollinare, caratterizzata dalla presenza di un acquifero libero multistrato di elevata trasmissività. Tale acquifero risulta contenuto in complessi sabbioso-ghiaioso, talvolta debolmente cementati, dotati di elevata permeabilità, con scarsa copertura di suolo attivo. Le condizioni di soggiacenza (spesso scarsa), la discreta connessione con la rete idrografica, esaltata dalle depressioni indotte dai numerosi pozzi e campi pozzi, creano le condizioni di elevato potenziale di inquinamento.

## **Dati di base**

La caratterizzazione stratigrafica e geomeccanica dei terreni che costituiscono il sottosuolo del territorio comunale è stata operata sulla base dei numerosi dati esistenti relativi a "prove geotecniche" (sondaggi, prove penetrometriche statiche e dinamiche,

indagini di laboratorio, sezioni geoelettriche) ed a pozzi a stratigrafia nota. L'ubicazione delle prove e dei pozzi, distinti con diversa simbologia ed indicati con una numerazione progressiva, è individuata sulla **Carta dei dati di base (Tav. 30)**, redatta contestualmente a quella litotecnica. Tutti gli elementi utili alle citate *prove* sono accorpati nell'allegato "**dati di base**".

L'elevato numero di informazioni, seppur non distribuite in maniera omogenea in tutto il territorio, date le sue peculiari caratteristiche morfologiche e vegetazionali, ha permesso un'attenta valutazione dell'andamento stratigrafico e delle proprietà geotecniche del sottosuolo del territorio comunale in argomento, costituendo *un patrimonio di conoscenze* indispensabile, anche se non esaustivo, per una corretta pianificazione urbanistica.

### **Bibliografia**

**R. Mazzanti, G. Sanesi (1986)**, *Carta Geologica della Bassa Val di Cecina, 1:25.000, C.N.R. Provincia di Pisa, Quaderni del Museo di Storia naturale di Livorno supplemento n° 1 volume 7*

**A. Costantini ed altri (1993)**, *Geologia della provincia di Livorno a sud del Fiume Cecina, 1:25.000, Quaderni del Museo di Storia naturale di Livorno supplemento n° 2 volume 13*

**M. Civita (1994)** *Proposta di legenda unificata per le Carte di vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei* - GNDICI-CNR .

Cecina, 23.02.2006