

Indice:

1	PREMESSA
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
3	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE
3.1	Assetto stratigrafico strutturale del territorio
3.2	Tettonica
4	STUDIO GEOMORFOLOGICO
4.1	Caratteristiche geomorfologiche del territorio
5	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE
5.1	Permeabilità degli affioramenti
5.2	Corpi idrogeologici
6	CARATTERISTICHE CLIMATICHE: ANALISI DEL REGIME PLUVIO-TERMOMETRICO
6.1	Climatologia
7	BILANCIO IDROLOGICO
7.1	Valutazione di "P" (precipitazione media annua)
7.2	Calcolo di Tp (temperatura fittizia media ponderata)
7.3	Valutazione del coefficiente di deflusso (d)
7.4	Infiltrazione efficace (Ie)
8	VALUTAZIONE DELLE POTENZIALITÀ DEI BACINI DI ASSORBIMENTO
9	RISCHIO IDROGEOLOGICO
9.1	Rischio per frana
9.1.1	Descrizione dei dissesti
9.2	Rischio idraulico
9.2.1	Contrada "Assieni"
9.2.2	"Canale Biro"
9.3	Calcolo di verifica del Canale Biro
10	PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE
10.1	Pericolosità sismica di base
10.2	Risposta sismica locale
10.2.1	Caratteristiche Litostratigrafiche
10.2.2	Condizioni topografiche
11	INDAGINI GEOGNOSTICHE
11.1	Sondaggi geognostici
11.2	Prospezioni geofisiche Masw
12	CONCLUSIONI E SUSCETTIVITA' D'USO DEL TERRITORIO

1- PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Custonaci con determina n. 1404 del 30.12.2016 ha conferito allo scrivente l'incarico della revisione dello studio geologico per il P.R.G. ai sensi della Circolare n.3/DRA - prot. n.28807 del 20.06.2014 dell'Assessorato Territorio ed Ambiente della Regione Sicilia.

Secondo le direttive della summenzionata Circolare dell'A.R.T.A. lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- Studio geologico, comprendente la descrizione delle formazioni geologiche presenti, le loro caratteristiche litologiche, i rapporti di giacitura nonché l'indicazione dei lineamenti tettonici, l'elaborazione e rappresentazione cartografica dei litotipi affioranti;
- Studio geomorfologico per l'identificazione e la descrizione di emergenze, depositi e processi connessi con l'evoluzione geomorfologica ed indotti dall'antropizzazione;
- Studio idrogeologico, per la classificazione e rappresentazione cartografica dei litotipi in base alla permeabilità, probabili direzioni di deflusso delle acque sotterranee e caratteristiche degli acquiferi;
- Studio delle pericolosità geologiche, per evidenziare le aree interessate da "pericolosità" quali frane, colate, crolli, erosioni ed esondazioni con un'attenta analisi degli studi precedenti;
- Studio della pericolosità sismica, sulla base dei dati esistenti per l'individuazione delle problematiche geologiche e per gli effetti di sito attendibili nelle aree interessate da fenomeni franosi in atto e quiescenti, aree potenzialmente franose e suscettibili di potenziali fenomeni di liquefazione, di cedimenti e di instabilità.

Alla presente relazione sono allegati:

Cartografia di analisi

- Carta geologica in scala 1:10.000 (Tav. 1A - 1B - 1C);
- Carta geomorfologica in scala 1:10.000 (Tav. 2A - 2B - 2C);
- Carta idrogeologica in scala 1:10.000 (Tav. 3A - 3B - 3C);

Cartografia di sintesi

- Carta della pericolosità geologica in scala 1:10.000 (Tav. 4A - 4B - 4C);
- Carta della pericolosità sismica in scala 1:10.000 (Tav. 5A - 5B - 5C);
- Carta della suscettività all'edificazione in scala 1:10.000 (Tav. 6A - 6B - 6C).

2- INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio comunale di Custonaci è localizzato nella porzione settentrionale della complessa struttura dei Monti di Trapani, con una superficie complessiva di Km² 62,10.

Confina ad Ovest con il Comune di Valderice, a Sud con il territorio di Buseto Palizzolo e ad Est con il territorio di San Vito Lo Capo.

Il centro urbano, è ubicato nella parte centrale, si estende nella dorsale compresa fra Monte Bufara e Monte Cofano, sulla piana di Cornino caratterizzata da un cospicuo tessuto urbano.

Da un punto di vista morfologico, il territorio si presenta prevalentemente collinare e montuoso con versanti generalmente acclivi.

I rilievi più significativi del territorio sono rappresentati da Monte Cofano (656m s.l.m.), Monte Palatimone (600m s.l.m.) e Monte Sparagio (1100m s.l.m.) che rappresenta il rilievo altimetricamente maggiore di tutto il sistema montuoso del trapanese.

In linea del tutto generale sono distinguibili i seguenti settori:

- L'agglomerato urbano che si estende in un altopiano limitato ad Est da due dorsali collinari e ad Ovest da una scarpata morfologica (*falesia di Scurati-Grotta Mangiapane*) che lo raccorda con la distesa pianeggiante costiera di C.da Cornino;
- La dorsale montuosa di Monte Sparagio che comprende anche rilievi minori quali Colma di Mezzo, Pizzo Giacomamaro, Pizzo della Noce;
- La dorsale montuosa di Monte Palatimone che delimita il territorio nella porzione Nord Occidentale;
- L'altopiano di Tribli, delimitato da scarpate rocciose subverticali prospicienti l'unico corso d'acqua di rilievo quale il Torrente Forgia;
- La piana costiera delle Contrade Cornino, Moglibelle e di Sanguigno che degrada molto lievemente verso la linea di costa;
- Monte Cofano che si presenta come una scaglia isolata e protesa verso mare sede di una Riserva Naturale Orientata.

Da una preliminare e sommaria analisi e con le restituzioni aerofotogrammetriche del territorio emerge immediatamente una peculiarità antropica legata all'attività estrattiva ed a un cospicuo assembramento di cave di calcare che contraddistinguono il così detto "*bacino marmifero di Custonaci*". A parte alcuni casi, le cave sono raggruppate in areali ben precisi localizzati in funzione delle caratteristiche geologiche e strutturali del bacino marmifero.

Le principali concentrazioni sono ubicate nelle seguenti zone:

- Versante meridionale della dorsale di Monte Sparagio e nella località Noce, C.da Susicchio e C.da Muciara;
- Dorsale compresa tra l'abitato di Custonaci e Monte Cofano comprendente le località Baglio Cofano, Marcato Gnarosa, Piano Zubia, Scaletta e Portella del Cerriolo.

Agglomerati minori di cave sono presenti in altre zone del territorio ed esattamente:

- Piano dei Tribli, Monte Bufara e Rocca Rumena (in disuso);
- Versante orientale di Monte Zimmara;
- Versante meridionale di Monte Palatimone;
- Porzione estrema Sud Orientale del territorio comunale, versante meridionale di Monte Sparagio;
- Località Cocuccio nella dorsale di Monte Sparagio

L'idrografia superficiale presente nel territorio dipende prevalentemente dalla litologia degli affioramenti, prevalentemente calcarei e calcarenitici pertanto a medio-alta permeabilità.

Tali caratteristiche intrinseche delle rocce affioranti favoriscono l'infiltrazione e la scarsa erodibilità che non consente lo sviluppo di un reticolo idrografico superficiale.

Le linee d'acqua esistenti s'impostano di frequente in corrispondenza di preesistenti linee tettoniche che costituiscono peraltro le vie di facile drenaggio per le acque di ruscellamento diffuso.

Dal punto di vista idrografico, il territorio è scindibile in due bacini, il cui spartiacque superficiale è ubicato in corrispondenza della vetta di Monte Sparagio.

A Sud, nella falda argillosa, ricadono gli impluvi tributari (C.da Parecchiate Serina) del Torrente Forgia, il cui alveo segna il limite territoriale con il Comune di Valderice. Oltre il Torrente Forgia un corso d'acqua di particolare interesse è il Canale Biro il cui alveo rappresenta il limite territoriale con il Comune di San Vito Lo Capo.

3- CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

3.1 - Assetto stratigrafico strutturale del territorio

Per trattare l'assetto stratigrafico-strutturale del territorio comunale di Custonaci oltre che delle evidenze litologiche accertate nel corso dei rilievi si è tenuto conto dei dati disponibili nella letteratura tecnica e negli studi bibliografici dei Monti della Sicilia Nord Occidentale.

Nello schema tettonico "*Allegato A*" sono distinte un gruppo di unità tettoniche impilate e vergenti verso Est e S-E.

Le unità derivano dalla deformazione avvenuta nel Miocene di una successione di piattaforme carbonatiche e bacini pelagici, formatesi durante le fasi distensive mesozoiche e facenti parte, nell'intervallo Mesozoico-Terziario, del margine settentrionale del continente africano.

Questi domini paleogeografici sono stati gradualmente deformati a partire dal Miocene Inf. dando luogo a sei diverse unità strutturali impilate e messe in posto dopo il Tortoniano Medio.

L'edificio strutturale così costituito nel Miocene sup., viene sottoposto ad una nuova fase tettonica dopo il Pliocene Inf. che determina un complesso sistema di strutture plicative ed una ulteriore traslazione delle Unità.

Nel Pleistocene il complesso strutturale viene sottoposto ad una nuova fase tettonica disgiuntiva che provoca lo smembramento in blocchi, sollevamenti differenziali da luogo a luogo e la rotazione degli originari piani di scorrimento.

Nel territorio in studio sono state individuate le seguenti Unità Stratigrafico Strutturali (U.S.S.) riconosciute nella letteratura geologica specifica:

Unità Monte Speciale-Monte Palatimone

E' caratterizzata da depositi prevalentemente carbonatici e terrigeni che denotano un ambiente di piattaforma carbonatica, che evolve a margine di piattaforma e quindi di scarpata. Le vicissitudini tettoniche di questa unità sono rappresentate da un sistema di pieghe con andamento degli assi orientati da NS a EW Affiora nella parte centrale del territorio a Monte San Giovanni, Monte Speciale, Monte Bufara ed a Monte Zimmara.

Presenta un sistema di pieghe con andamento degli assi N-S ed E-W. I terreni di questa unità si trovano sovrapposti tettonicamente alle argille del Tortoniano Medio.

Unità Monte Sparagio-Monte Cofano

E' caratterizzata da terreni carbonatici, silico-carbonatici e silico-clastici riferibili ad ambiente di piattaforma carbonatica che evolve a margine di piattaforma e quindi di scarpata.

Affiora nel promontorio di Monte Cofano dando luogo ad una anticlinale rovesciata con asse orientato NE -SW e nella dorsale di Monte Sparagio ove affiora la gamba meridionale di una anticlinale orientata ESE - WNW.

Nel complesso i terreni affioranti nell'intero territorio comunale hanno un'età compresa tra il Trias sup. ed il Miocene sup., ricoperti nella parte settentrionale del territorio, dai depositi marini quaternari costituiti da calcareniti bioclastiche tirreniane oltre i depositi di natura detritica che bordano le pendici dei rilievi.

Poiché i terreni appartenenti alle due unità presenti nell'area in studio hanno caratteristiche simili, si è ritenuto opportuno descriverli in ordine cronostratigrafico piuttosto che distinguerli per unità d'appartenenza:

- **Trias sup.:**

I terreni triassici sono caratterizzati da dolomie microcristalline, cariate con frattura concoide e stratificazione massiva con intercalati calcari dolomitici, stratificati, di colore grigio biancastro. Fratturati e con strutture da dissoluzione che generano cavità talvolta riempite da materiale argilloso (foto1).

Costituiscono il rilievo di monte Cofano.



Foto 1: Affioramento di dolomie cristalline presso Punta della Croce- Monte Cofano

- **Lias - Trias sup.:**

I terreni appartenenti a questo intervallo stratigrafico sono caratterizzati da una parte inferiore costituita da dolomie loferitiche alternate ciclicamente a banchi di dolomie stromatolitiche (*foto 2*) e da una porzione superiore costituita da calcari dolomitici passanti verso l'alto a calcari bianchi di piattaforma carbonatica con abbondanti molluschi (*Unità Monte Sparagio - Monte Cofano*).

Affiorano a Piano dei Tribli, Monte Sparagio, Monte Palatimone, Monte Cofano, tra Cala Macarese e Cala Buguto, nella Piana di Castelluzzo rispettivamente a nord di Portella Cipollazzo, ed a Frassinio in superfici d'abrasione marina.

Lo spessore varia secondo gli affioramenti da 75m. a Piano dei Tribli, a 700m. a Monte Palatimone, a 1000m. a Monte Sparagio.

Gli affioramenti sono caratterizzati da numerose cavità paleocarsiche riempite da silt vadoso, materiale terrigeno o cemento calcitico sotto forma di grossi cristalli e da forme carsiche quali solchi, docce, karren, dovute all'azione delle acque meteoriche.

L'analisi microscopica dei litotipi dolomitici non ha permesso di acquisire notizie sull'originaria tessitura. Per quanto riguarda, invece, i litotipi calcarei, i campioni prelevati nei pressi di Cocuccio e Piano dei Tribli mostrano una tessitura fango-sostenuta (*tipo wachestone*).

All'interno di questa serie si rilevano, inoltre, intercalati in diversi livelli e con spessore variabile raggiungente anche parecchie decine di metri, delle brecce intraformazionali, oggetto d'estrazione per uso ornamentale sotto il nome commerciale di Libeccio (*Unità Monte Speciale - Monte Palatimone*) (*foto 3*).

Tali brecce di colore variabile dal verdastro al giallo al rosso vinaccia affioranti nei pressi di Cocuccio sono costituite da frammenti spigolosi di calcari (*intramicriti, oospariti, intraspariti, pelspariti*) di facies identica al complesso che li contiene ovvero di facies sopralitorale (*strutture loferitiche*), di facies tidale (*strutture stromatolitiche*) e di facies subtidale (*calcari bianchi*).



Foto 2: Dolomie stromatolitiche nella piattaforma d'abrasione marina in C.da Frassino (Castelluzzo).

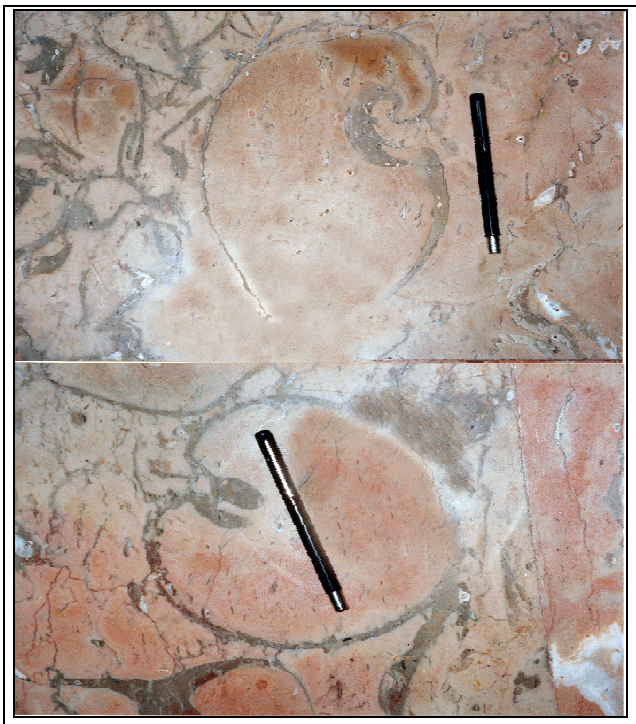


Foto 3: Breccie intraformazionali "Libeccio" contenenti grossi lamellibranchi del genere *Megalodon*.

- **Titonico - Neocomiano:**

I depositi riferibili a questo intervallo sono costituiti da un'alternanza ciclica con ritmi più o meno completi di calciruditi con abbondante matrice, passanti a biocalcareni ad entrochi e calcari allodapici.

Lo spessore d'ogni singolo livello va dai 10cm a 50cm (*foto 4*) ed i singoli strati sono marcati da contatti stilolitici (*Unità Monte Speciale-Monte Palatimone*).

La componente ruditica delle brecce è costituita da calcilutiti di colore grigio scuro a frattura concoide, con frammenti di lamellibranchi e gasteropodi, brachiopodi, coralli e alghe a ellipsactinie che sembrano ricondurre ad un originario ambiente deposizionale che può essere quello d'avanscogliera (*Unità Monte Sparagio - Monte Cofano*).

Affiorano sul versante meridionale di Monte Bufara, a C.da Noce, a nord di Cozzo Pignatello e Pizzo Corvo con uno spessore attorno ai 100m.



Foto 4: *Affioramento di calcari allodapici sul versante meridionale di Monte Bufara.*

- **Cretaceo sup.:**

Gli affioramenti riferibili a questo periodo sono rappresentati da megabrecce di colore grigio chiaro tendente al bianco, verso l'alto mal stratificate e fossilifere (*foto 5*).

Ogni singolo litoclasto è costituito da una calcarenite bioclastica e intraclastica con frammenti di rudiste e hippuriti. Gli elementi della breccia sono compenetrati per fenomeni di dissoluzione per pressione originando superfici stilolitiche.

Nella parte sommitale della successione, la natura clastica è obliterata facendo assumere alla roccia un aspetto cristallino.

Oltre ai fossili cui si è già accennato, il contenuto paleontologico è costituito da caprinidi, lamellibranchi, coralli e orbitoidi.

Affiorano nel tratto terminale del Rio Forgia, nel versante meridionale di monte Sparagio e nell'area compresa tra il versante settentrionale di monte Bufara e le pendici del versante meridionale di monte Cofano. Lo spessore varia dai 150 m ai 300 m.

Intercalate alle megabrecce si riscontrano delle lave di spessore di diversi metri affioranti a Sud dell'abitato di Custonaci, nella contrada Sanguigno e nei pressi del vecchio ponte sul Torrente Forgia descritte da Vianelli (1968-a) come basalti tholeitici piuttosto duri, di colore grigio scuro con spalmature biancastre e nerastre e a grana non molto fine, pur non potendosi individuare ad occhio nudo la natura dei piccoli fenocristalli.



Foto 5: Breccie calcaree affioranti sul versante meridionale di M. Sparagio. Particolare di una cava ad anfiteatro

- **Cretaceo sup. - Eocene:**

I terreni riferibili a questo intervallo sono rappresentati da un'alternanza di calcilutiti e calcilutiti marnose ricche in foraminiferi planctonici (*Globotruncane*), noti nella letteratura geologica come “*Scaglia*”.

Si tratta di calcari a grana medio-fine, di colore bianco, localmente silicizzato, con frequenti noduli e lenti di selce. Si riscontrano intercalazioni di argille talora arenacee stratificate in banchi dello spessore dell'ordine del decimetro a struttura scagliosa a testimoniare un comportamento duttile della deformazione.

Intercalati alla “*Scaglia*” si riscontrano materiali clastici carbonatici (*Unità Monte Sparagio-Monte Cofano*).

La “Scaglia” affiora a Monte Cofano con uno spessore massimo misurato di 20 m, con giacitura a strati rovesciati.

L'analisi microscopica delle calcilutiti marnose mostra una tessitura di tipo wachestone con una ricca fauna a foraminiferi planctonici tra i cui si riconosce *Globotruncana arca*, *Acarinina bullbrookii* e Globigerine.

- **Burdigaliano:**

Gli affioramenti databili del Burdigaliano sono caratterizzati da biocalcareniti e biocalciruditi in livelli dello spessore dell'ordine di 50 cm, con glauconite che conferisce alla roccia la classica pigmentazione verdastra (*foto 6*).

Questi terreni, noti nella letteratura geologica col nome di “Mischio”, affiorano, con spessore dell'ordine di 10 m, lungo una fascia che si estende da contrada Assieni verso Est, in trasgressione sulle breccie calcaree a rudiste ed hippuriti del Cretaceo sup.

Il contenuto paleontologico è molto abbondante ed è costituito da echinodermi, coralli, alghe, microforaminiferi e lamellibranchi grandi anche 10 cm.



Foto 6: Affioramento di calcareniti e calciruditi glauconitiche in Contrada Assieni.

- **Langhiano - Tortoniano:**

Questi terreni sono costituiti da argille e marne brune, a luoghi colore tabacco con elevati tenori di sabbie e quarzareniti, che si alternano in banchi con spessore dell'ordine di diversi metri (*foto 7*).

Tali depositi che affiorano nei pressi dell'abitato di Purgatorio in contrada Mocata, a Sud di Piano dei Tribli, a Sud di C.da Assieni e della dorsale collinare di Monte Sparagio con uno spessore variabile da 150 m a 400 m.



Foto 7: Argille e marne brune a luoghi di color tabacco con intercalazioni di quarzareniti (*in alto*).

- **Tortoniano sup. - Messiniano inf.:**

Questi depositi sono rappresentati da argille, argille sabbiose, sabbie e conglomerati di colore giallo tendente al marrone chiaro, correlabili con la “*Formazione Cozzo Terravecchia*” istituita da Flores (1959) e descritti come marne grigio-azzurre, conglomerati, argille sabbiose, lenti olistrostromiche e talvolta anche come calcari detritico-organogeni.

Affiorano nei pressi del ponte di Lentina a Sud di Custonaci con uno spessore massimo di circa 30 m (*foto 8*).



Foto 8: *Lente sabbiosa affiorante nei pressi del ponte di Lentina.*

- **Pliocene sup. - Pleistocene inf.:**

Calcareniti detritico organogene di colore giallo e rossastro omogeneo nelle sue caratteristiche macroscopiche, costituito da granuli arenitici carbonatici arrotondati, ben selezionati e debolmente cementati.

Affiorano a Contrada Purgatorio con spessori dell'ordine di circa 20 m, dove sono presenti peraltro cave a fossa in disuso dove in epoca relativamente recente si coltivavano le calcareniti per ottenerne pietra concia (conci di tufo in edilizia).

Si presentano senza particolari strutture sedimentarie e dall'osservazione effettuata lungo le fronti di cava si è riscontrata una discordanza angolare ed una faglia le cui labbra indicano chiaramente un movimento orizzontale rivolto in direzione NNW-SSE.

- **Emiliano II - Siciliano:**

In trasgressione sui terreni precedentemente descritti si è depositata una calcarenite stratificata in grossi banchi, costituita da clasti prevalentemente monometrici che presenta una variabilità sia nel colore che nella cementazione dell'ammasso roccioso.

Mentre nella parte inferiore si presenta poco cementata con passaggi laterali più o meno sabbiosi di colore rossastro, nella parte sommitale si presenta di colore giallo paglierino tendente al bianco molto ben cementata (*foto 9*).

Tali depositi calcarenitici sono associabili stratigraficamente alla "*Calcarenite di Marsala*" descritta da Ruggieri & Unti (1974).

La Formazione affiora in contrada Frassino, a Casa Spadazzo, nei pressi della Tonnara di Cofano, a Contrada Cornino e ad Assieni rappresentando in tutta la sua estensione una evidente piattaforma d'abrasione marina.

Il contenuto fossilifero piuttosto abbondante, è caratterizzato da fossili più o meno rimaneggiati tra cui distinguiamo lamellibranchi quali il genere *Ostrea* (con il tipico guscio porcellanaceo a strati) e la specie *Pecten jacubeus* un bivalve che vive nel livello circalitorale tra i -20 m e -40 m di profondità.

La sedimentazione della calcarenite s'interrompe a causa di una generale emersione che prelude una lunga fase d'esposizione sub-aerea come dimostrano i paleosuoli presenti in Contrada Assieni che separano la calcarenite del Pleistocene Inferiore dai depositi del Pleistocene Superiore.



Foto 9 *Calcarenite dell'Emiliano II - Siciliano* affiorante in una cava a Calazza (Castelluzzo).

- **Pleistocene medio - sup.:**

Calcareniti detritico-organogene di colore giallastro prive di fossili a granulometria omogenea, ben cementate con presenza di frammenti di quarzo distribuiti in maniera pressoché uniforme.

Affiorano a Contrada Cornino, Scurati, Sanguigno, Frassino e nella Piana S. Alberto.

Si presenta con spessore non superiore al metro e giacitura sub-orizzontale con inclinazione verso la linea di costa di circa 3°.

Nella porzione basale dell'affioramento calcarenitico si riscontrano dei livelli di ghiaie dello spessore di alcuni centimetri per lo più poligenici che corrispondono, con buona approssimazione, all'antico fondo marino (*Carobene L. 1978 - foto 10*).

A luoghi sono, anche, presenti elementi ruditici più o meno arrotondati sparsi in maniera non omogenea all'interno del deposito a testimonianza di un apporto di materiale detritico avvenuto durante la sedimentazione della calcarenite.

Nella parte sommitale si riscontrano, a volte, dei depositi di tipo alluvionale e continentale indifferenziati mentre, dove questi sono assenti, l'alterazione ad opera degli agenti esogeni conferisce un colore rossastro con presenza di tasche d'erosione, discontinuità e cavità.



Foto10: Affioramento di calcarenite pre-tirreniana a C.da Frassino. Si noti il conglomerato trasgressivo che separa la calcarenite dell'EmilianoII - Siciliano (parte bassa) dalla calcarenite del Pleistocene medio-sup. (parte alta).

- **Tirreniano:**

Depositi litorali in facies calcarenitica e calciruditica molto ciottolosi, fossiliferi e ben cementati. In affioramento si presenta di colore da giallo paglierino a terra di siena, con un aspetto spugnoso, intensamente cariata, talora cavernosa per l'azione corrosiva dei flutti, senza segni palesi di stratificazione (*foto 11*).

E' presente lungo la costa ad un'altezza massima di 3m. in sottili lembi dello spessore massimo di 60 cm a Nord di Portella Cipollazzo, presso Punta Della Croce e a Contrada Cornino.



Foto 11: *Depositi litorali detritico organogeni del Tirreniano. Si noti in alto un particolare dell'affioramento con Strombus Bubonius.*

- **Recente:**

I depositi recenti ed attuali sono rappresentati dai detriti di falda, dalle alluvioni e dai materiale provenienti dalla lavorazione delle numerose cave presenti nel territorio ed accumulati in prossimità di esse. Al primo termine appartengono i terreni di più recente formazione della serie geologica costituiti in prevalenza da sedimenti continentali depositati sotto l'azione della forza di gravità ai piedi dei rilievi calcarei essenzialmente imputabili ai processi di weathering ai quali sono sottoposti i rilievi da parte degli agenti atmosferici.

Trattasi di coltri di detrito di falda ad elementi calcarei ed arenacei a spigoli vivi e granulometria variabile costituiti da blocchi, anche di notevoli dimensioni, fino a porzioni arenitiche, spesso incoerenti o debolmente cementati da calcite spatica secondaria, con elementi del diametro che va da pochi millimetri a diversi decimetri.

Nelle parti più basse, dove l'acclività generale tende a diminuire, si hanno fenomeni di fluitazione ad opera delle acque selvagge, con spandimento della coltre detritica sui materiali sottostanti e spessore della stessa di pochi decimetri.

Il loro grado di permeabilità è elevato per porosità secondaria con possibilità di formazione di piccole falde idriche dove il substrato è argilloso.

La stabilità del detrito è molto scarsa sia per la loro natura che per la loro ubicazione che ne fa dei materiali mobili. Come tutti i materiali sciolti, da un punto di vista sismico sono pericolosi per gli effetti di risonanza indotti dalle onde sismiche con amplificazione delle stesse. Tra l'altro i detriti mascherano delle fratture attive che bordano i rilievi che possono rappresentare sedi di sorgenti sismiche.

Per quanto concerne le alluvioni, anch'essi depositi di recente formazione, sono costituiti da sedimenti continentali depositatisi principalmente nel tratto terminale nei pressi della foce del torrente Forgia a seguito dell'erosione dei rilievi più interni.

Si tratta di depositi sciolti sottoposti a continui rimaneggiamenti e variazione di localizzazione, lungo il letto del Torrente Forgia ed in particolare in corrispondenza del tratto vallivo.

Presentano una granulometria alquanto varia ed un pessimo grado di classazione sovrapponendosi a lenti argillose alternativamente lenti sabbiose, ghiaie, continuamente rimossi dalle piene stagionali.

Il loro grado di permeabilità è elevato mentre localmente la presenza di intercalazioni argillose conferiscono una permeabilità minore o pressoché nulla.

Infine si annovera il materiale di risulta che si presenta nella zona di Custonaci come una costante in tutte le aree adiacenti le cave, accumulato fino ad originare dei veri e propri rilievi che spesso, in seguito alla loro instabilità, portano alla formazione di coni di detrito.

La stabilità di questi tipi litologici, sia per la loro natura sia per la loro ubicazione, che ne fa dei materiali estremamente mobili, è chiaramente molta scarsa.

3.2 - Tettonica

Per quanto riguarda i rapporti tettonici tra le Unità prima citate si riporta sinteticamente quanto evidenziato da studi precedenti eseguiti sui Monti della Sicilia Nord-Occidentale, limitandoci alle Unità che effettivamente interessano il territorio comunale di Custonaci.

Tali Unità Stratigrafiche corrispondono, infatti, ad altrettante Unità tettoniche la cui messa in posto viene in genere attribuita alla tettonica compressiva tardo miocenica (Tortoniano medio) che mediante sovrascorrimenti e faglie inverse, porta le diverse Unità stratigrafiche ad accavallarsi l'una sull'altra a formare falde e scaglie tettoniche.

Tali Unità sono, inoltre, interessate da una serie di strutture, sia a pieghe che a faglie in seguito alla reologia dei terreni che comporta una diversa risposta in seguito all'applicazione delle sollecitazioni tettoniche.

Strutture a pieghe si riscontrano a Monte Cofano, che costituisce un anticlinale coricata con asse orientato NE-SW (Giunta & Liguori, 1972) e nei pressi dell'abitato di Custonaci (vedi sezione C-D) dove è presente una piega sinclinale con asse orientato in direzione E-W.

La risposta di tipo fragile è invece data da quattro sistemi di faglie orientate rispettivamente N-S, E-W, NE-SW e NW-SE.

I dati stratigrafici e strutturali rilevati in campagna portano all'individuazione di due Unità tettoniche principali:

- *Unità Monte Cofano-Monte Sparagio*
- *Unità Monte Speciale-Monte Palatimone*

L'Unità Monte Sparagio-Monte Cofano nell'avanzare verso Sud si imposta sulle argille del Langhiano-Tortoniano tramite una superficie di sovrascorrimento ad orientata E-W.

L'evidenza di questo sovrascorrimento, è data da un contatto tettonico tra le serie rigide carbonatiche mesozoico-terziarie ed il "Complesso Plastico" che è possibile seguire in tutto il suo sviluppo da M. Sparagio a M. Bufara fino a M. Misericordia (Giunta & Liguori, 1972).

Durante la messa in posto tale Unità si è frammentata in diversi blocchi che hanno reagito differenzialmente alle spinte tettoniche; testimonianza di ciò sono le numerose faglie a prevalente componente orizzontale dirette NE-SW e NW-SE le quali hanno frammentato la superficie di sovrascorrimento.

Infine la messa in posto della scaglia tettonica di M. Cofano, che si presenta come una piega a ginocchio, avviene tramite una superficie di sovrascorrimento vergente verso SE con direzione del piano NE-SW.

L'Unità Monte Speciale-Monte Palatimene presenta un sistema di pieghe con andamento degli assi N-S ed E-W.

I terreni di questa età si trovano sovrapposti tettonicamente alle argille del Tortoniano Medio dell'Unità Monte Ramalloro e l'età di questi sovrascorrimenti è successiva al Tortoniano Medio.

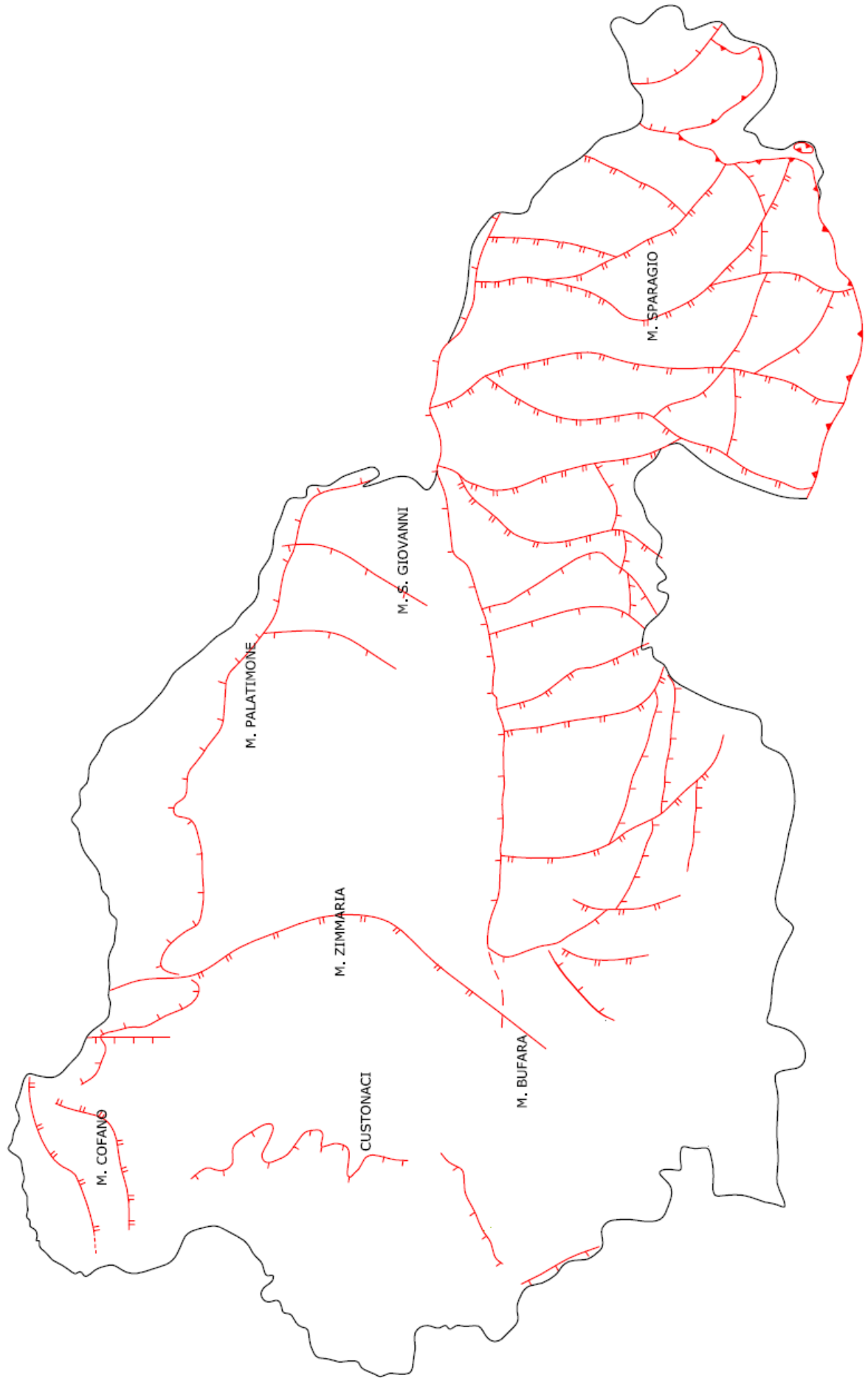
Le analisi strutturali hanno mostrato l'esistenza di famiglie di pieghe con gli assi più antichi orientati N-S e NW-SE successivamente ruotati in direzione E-W.

Le primitive direzioni di piegamento sembrerebbero associabili alla primitiva direzione di trasporto che avviene verso Est, mentre la rotazione subita successivamente dalla seconda famiglia di pieghe, quella con assi diretti E-W, potrebbe essere dovuta ad un cambiamento, verso sud, dopo il Pliocene Inf., della direzione di trasporto tettonico.

Alla fase tettonica compressiva pliocenica segue una fase disgiuntiva conseguente al sollevamento dell'edificio strutturale dei Monti di Capo S. Vito.

Le faglie generalmente mostrano superfici subverticali e sono raggruppabili in grandi dislocazioni a prevalente andamento NW-SE, dislocazioni a prevalente andamento NNE-SSW e N-S responsabili dell'andamento di alcuni tratti di costa e dislocazioni a prevalente andamento E-W per lo più parallele agli assi delle pieghe.

Lo schema tettonico del territorio comunale è riportato *nell'Allegato A*.



4- STUDIO GEOMORFOLOGICO

Il territorio di Custonaci è da un punto di vista geomorfologico alquanto complesso in quanto caratterizzato dall'alternarsi di aree montuose e collinari come la dorsale Monte Sparagio-Monte Palatimone con aree costiere sub pianeggianti con più ordini di terrazzi marini come quelli che caratterizzano C.da Cornino e C.da Frassino poste rispettivamente ad Ovest ed a Est di Monte Cofano.

L'assetto geomorfologico generale del territorio è suddivisibile, in linea generale, nelle seguenti unità geomorfologiche:

- **Le spianate quaternarie costiere**, la cui origine è riconducibile all'azione di abrasione del moto ondoso durante il quaternario con "ripe di erosione e falesie" e "piattaforme di erosione associabili a più ordini di terrazzi marini" effetto dell'alternarsi di trasgressioni e regressioni marine.

Si presentano come delle superfici sub-orizzontali lievemente inclinate verso la linea di costa localizzate a quote differenti rispetto all'attuale livello medio marino, talora delimitate da rotture di pendenza e la loro età aumenta verso l'entroterra.

A C.da Frassino sono state rilevate delle forme morfologiche molto interessanti quali "paleobarre" evolventi a "dune costiere" con la caratteristica sedimentazione di tipo incrociata.

- **Le dorsali collinari e montuose** del complesso carbonatico Mesozoico-Cretaceo per effetto di un sistema di faglie e discontinuità hanno dislocato, nel corso della crisi tettonica miocenica, le unità geologiche strutturali prima descritte. Le coltri detritiche si sono depositate al piede dei rilievi in "conoidi e falde" occultando parte delle dislocazioni tettoniche.

Gli agenti esogeni successivamente hanno favorito l'instaurarsi del fenomeno carsico, con effetti anche grandiosi (*C.da Bufara, dolina omonima*).

- **Il versante meridionale argilloso ed alluvionale**, rappresenta parte del bacino imbrifero del Torrente Forgia e comprende le C.de Parecchiate Serina e Chiova.

L'analisi delle caratteristiche geomorfologiche del territorio comunale ha evidenziato la presenza di forme aspre come gradini, scarpate e rotture di pendenza, principalmente presenti nel passaggio tra l'unità morfologica di tipo collinare o montuosa con quella delle spianate quaternarie.

Sono stati analizzati i fenomeni e fattori che hanno contribuito e contribuiscono ancora all'evoluzione del territorio, siano essi naturali che antropici, la cui puntuale individuazione costituisce uno strumento indispensabile per consentire un uso del suolo controllato, utile per garantire un'attività di difesa non soltanto nei confronti del territorio ma anche delle vite umane.

I terreni affioranti nel territorio comunale di Custonaci hanno raggiunto il loro attuale assetto geomorfologico in seguito a vicissitudini geologiche ed alla morfogenesi plio-quadernaria.

L'inizio dell'evoluzione geomorfologica può farsi risalire alla fine del Pliocene, a cui è legata l'evoluzione dell'edificio a falde impilate dalla precedente tettonica compressiva mio-pliocenica.

Alla fine della fase compressiva pliocenica s'instaura un regime tettonico distensivo, caratterizzato da faglie dirette a forte rigetto, che hanno determinato l'altitudine dei rilievi e l'andamento morfologico dei versanti.

L'erosione ha portato, successivamente, alla definizione dell'attuale morfologia del territorio, con un'azione che si diversifica nelle varie litologie presenti.

In particolare, il territorio in esame è caratterizzato dall'evidente contrasto esistente tra i rilievi caratterizzati da rocce carbonatiche, che ricoprono circa il 70% dell'intera superficie e presentano versanti generalmente acclivi o molto acclivi, interessati di tanto in tanto da rotture di pendenza e le pianure costiere, site nelle estreme porzioni settentrionali separate da Monte Cofano.

Le zone sopra indicate, montuose e pianeggianti, sono il risultato sia delle dislocazioni tettoniche postorogene sia dell'azione erosiva del mare.

All'evoluzione morfostrutturale segue *l'evoluzione geomorfologica dinamica* operata da tutti quei fenomeni naturali o antropici che concorrono a modificare la morfologia del territorio.

In particolare, i principali tipi di *modellamento geomorfologico*, alla cui azione è associabile l'attuale paesaggio del territorio sono: il modellamento fluvio-denudazionale, il modellamento carsico il modellamento gravitativo ed il modellamento antropico.

Per modellamento fluvio-denudazionale s'intende quello dovuto all'azione delle acque selvagge ed incanalate.

Si differenzia secondo i tipi litologici su cui ha agito o agisce, in funzione del loro grado d'alterabilità fisica o chimica e del loro differente grado d'erodibilità.

Il modellamento fluvio-denudazionale su rocce carbonatiche dà luogo, lungo i versanti dove i deflussi idrici non sono ben definiti, a fenomeni d'erosione diffusa più o meno intensa.

Laddove, invece, l'erosione diffusa passa ad erosione lineare, operata dalle acque incanalate, si formano valli con profili trasversali a "V" più o meno aperte secondo il loro stadio evolutivo, talvolta asimmetriche in funzione della giacitura delle rocce, ma poco abbondanti.

Le displuviali sono rappresentate da creste ben definite specie nelle zone più elevate.

Altri elementi caratteristici di questo paesaggio sono le rotture di pendenza dovute per lo più all'erosione selettiva ed all'assetto giaciturale e tettonico delle rocce.

L'azione di denudazione dovuto allo scorrimento delle acque sulle rocce carbonatiche è tra l'altro favorita dalla prevalente mancanza di vegetazione e di suolo, specie sui versanti più acclivi, che risultano, pertanto, esposti non soltanto all'azione erosiva dell'acqua, ma anche a tutti quegli agenti fisici (*crioclastismo e termoclastismo*), chimici (*soluzione*), biologici ed antropici che ne provocano l'erosione e quindi la loro denudazione.

La vegetazione esercita un'azione mitigatrice nei confronti della mobilitazione dei materiali presenti in superficie, in quanto riduce gli effetti dei processi erosivi dovuti all'acqua ed al vento.

Essa è indizio ed insieme causa di stabilità morfologica e favorisce la percolazione lenta dell'acqua piovana, limitando lo scorrimento superficiale.

In alcuni casi, in corrispondenza delle aree caratterizzate dall'erosione superficiale diffusa, la roccia si presenta suddivisa, a causa delle litoclasti allargate per processi di disfacimento, in blocchi che appaiono in precario stato d'equilibrio.

Lungo le pendici dei rilievi calcarei, il modellamento fluvio denudazionale si associa al *modellamento carsico*.

Le rocce carbonatiche sono, infatti, oggetto di processi di dissoluzione chimica (*carsismo*) da parte delle acque meteoriche.

Le acque superficiali scorrendo in superficie o penetrando in profondità attraverso le discontinuità, danno luogo ad una morfologia carsica caratterizzata dalla presenza di grotte e cavità che si allargano sempre più con il procedere del fenomeno, cui spesso è facile accedervi da aperture prodottesi in superficie.

Infatti, sul territorio comunale, sono state riscontrate numerose grotte.

Il modellamento fluvio-denudazionale associato con il modellamento gravitativo innesca i **fenomeni franosi** (*rischio idrogeologico*).

Con tale termine s'intendono i dissesti, più o meno intensi, di degradazione degli interfluvi, che coinvolgono le parti meno superficiali di un pendio, legate all'azione della gravità.

In particolare, lungo i rilievi di natura carbonatica, le forme ed i processi che vi si verificano grazie sia all'azione della gravità che a quella delle acque correnti superficiali o alla combinazione di essi sono le **frane di crollo**.

Sono stati riscontrati locali fenomeni di crollo di blocchi disarticolati da ammassi rocciosi a picco o sporgenti da pareti verticali e/o subverticali dei rilievi o, ancora, rotolamenti di frammenti lapidei lungo quei versanti acclivi e denudati, in corrispondenza dei quali blocchi anche di grosse dimensioni in precario stato di equilibrio, soggetti all'azione della gravità che tende a spostarli dalla loro sede originaria, e possono costituire un pericolo per tutti gli insediamenti sottostanti (*C.da Scurati e C.da Rocca Rumena*).

Il *modellamento antropico* ha provocato considerevoli effetti morfogenetici in relazione agli interventi d'urbanizzazione ed alle attività di sfruttamento dei materiali da cava. Nel territorio comunale s'individuano zone intensamente urbanizzate, oltre che in corrispondenza dell'abitato vero e proprio e della sua immediata periferia, anche in corrispondenza della piana di Cornino, in corrispondenza della quale si riscontrano diversi insediamenti residenziali per lo più stagionali.

Si tratta di aree in continuo ampliamento dove l'intervento antropico si manifesta con tutti i suoi aspetti negativi da un punto di vista ambientale.

Alle forme di modellamento sopra esposte si aggiunge quella causata dall'azione erosiva del mare, per la quale s'intende il prelievo e l'assunzione in carico di materiale detritico presso il litorale.

Lungo le coste le spiagge sono assenti o limitate a sottili strisce sabbiose o ghiaiose che tendono a ridursi ancor di più soprattutto nel periodo invernale.

4.1 - Caratteristiche geomorfologiche del territorio

La dorsale collinare su cui risulta ubicato il centro urbano di Custonaci si raccorda, a N-W, con una estesa scarpata sub-verticale alla spianata calcarenitica costiera di C.da Cornino.

Tale parete con andamento NE-SW, da un punto di vista geomorfologico, rappresenta una ripa d'erosione relitta (*falesia*) originata dal moto ondoso, con al piede il caratteristico solco del battente.

Una situazione morfologica simile si riscontra nelle C.de Frassino e Tuono dove l'Unità di Monte Palatimone è delimitata a settentrione dalle spianate quaternarie costiere e da pareti rocciose orientate E-W.

L'effetto geomorfologico di maggiore interesse resta comunque il carsismo tipico delle aree rigide carbonatiche controllate dalla tettonica con uno stadio di maturità da definire "*avanzato*" nella vistosa dolina a pozzo di crollo denominata "*Bufara*", che presenta una profondità di circa 50m. ed un diametro di circa 250 m.

Lo stadio "*giovane*" dei fenomeni carsici sono invece facilmente rilevabili in quasi tutte le fronti di cava del bacino marmifero.

Gli ammassi rocciosi sono in linea di massima interessati da fratture beanti di dissoluzione, occluse da terra rossa residuale, con profondità variabili da 3.00m a 10.00 m.

Un altro effetto causato dal carsismo è la circolazione idrica sotterranea attraverso fratture e discontinuità degli ammassi rocciosi.

Tra le forme carsiche superficiali, sono un po' ovunque presenti, solchi, canali carsici (*Karren*), docce e scanellature.

Ai depositi di versante, che si presentano di norma molto acclivi soprattutto in corrispondenza dei piani di faglia perimetrali che bordano i rilievi, si rinvencono accumuli di depositi silico-clastici generati dallo smantellamento dei rilievi imputabili ai processi di weathering.

I depositi clastici costituiscono le *falde detritiche* in genere mediamente addensate e con scarsa matrice argillosa, *le conoidi e le pietraie attive*.

Dette forme morfologiche derivano dall'azione combinata di due processi.

La “**degradazione**” inizia con la disgregazione, l’alterazione e la frantumazione delle rocce basali e prosegue con lo spostamento, il trasporto ad opera della forza di gravità, delle acque meteoriche o del vento, dei detriti rocciosi.

L’**“aggradazione”** che determina l’accumulo per gravità nelle fasce pedemontane dei materiali di degradazione (*depositi di versante*).

Il settore costiero del territorio è caratterizzato dalla presenza di paleoforme, più o meno evidenti, riconducibili a strutture di erosione o di sedimentazione, come: *solchi di battente*, *grotte*, *paleofalesie*, *dune costiere* e *terrazzi marini*.

La identificazione, per altro suffragata dalla presenza di una serie di superfici ad andamento orizzontale o sub-orizzontale poste a diverse quote rispetto all’attuale livello del mare, tiene conto degli elementi costitutivi quali la tipologia del deposito sedimentario, la piattaforma d’abrasione, la scarpata, il margine interno, ed i paleosuoli.

Le cause sono da attribuire alle trasgressioni ed alle regressioni marine di origine eustatica, isostatica e tettonica.

- **Solchi di battente**

Nel settore costiero sono stati individuati, a distanza variabile dalla linea di costa, delle concavità di dimensioni variabili in funzione della litologia ed ai processi di erosione marina (*abrasione*).

Solchi di battente sono stati localizzati a Contrada Scurati, nella parete subverticale costituita dalle brecce calcaree a hippuruti rudiste e orbitoline del Cretaceo medio-sup. che delimita, con andamento NE-SW, la dorsale di Portella del Cerriolo con la piana calcarenitica di Cornino.

La quota del livello medio marino corrisponde con buona approssimazione a quella del solco di battente, si ricava infatti sottraendo una decina di centimetri alla quota del punto di massima rientranza del solco di battente (Carobene, 1978), la presenza di tali strutture poste a quote diverse è testimonianza diretta e di diverse oscillazioni del livello del mare e di movimenti tettonici differenziali avvenuti nel Quaternario in questo settore costiero.



Foto 12: Solchi di battente nelle brecce calcaree cretache in Contrada Scurati

- **Falesie**

La falesia di Contrada Scurati è quella che più di tutte mostra scolpite sulle pareti verticali che la caratterizzano, i segni di natura chimica, biochimica e meccanica lasciati dal mare ad un livello superiore all'attuale, si aprono infatti lungo le sue pareti cavità più o meno vaste e irregolari che sono il risultato dell'erosione chimica e meccanica differenziale di porzioni rocciose più o meno fratturate.

Tra le cavità, oltre ai solchi di battente, a volte non perfettamente orizzontali ma inclinati per effetto dei più recenti movimenti tettonici, la grotta Mangiapane mostra all'interno i segni evidenti di erosione marina, come scanellature parietali, incrostazioni organogene, depositi conglomeratici e fori di Litodomi.

L'erosione marina differenziata può essere attribuita ai diversi tipi litologici che costituiscono le falesie presenti in tutta la zona costiera.

Mentre le falesie di Castelluzzo si impostano sulle dolomie e calcari dolomitici del Trias sup.-Lias medio, nella falesia di Scurati troviamo le brecce bioclastiche con rudiste hippuriti e orbitoline del Cretaceo medio-sup. più suscettibili delle dolomie ai processi di dissoluzione chimica e quindi più ricche di paleoforme di dimensioni maggiori tra cui riconosciamo le grotte di escavazione marina e i già citati solchi di battente.

Occorre comunque sottolineare che la presenza di massicci accumuli detritici alla base dei versanti dolomitici in C.da Tuono e Frassino hanno potuto in parte obliterare eventuali paleoforme presenti lungo le pareti delle falesie infatti là dove falde e conoidi detritiche sono assenti, risultano ben evidenti per le loro grandi dimensioni alcuni solchi di battente impostati su rocce dolomitiche.

- **Dune costiere**

Questa forma morfologica presente a Frassino, taglia trasversalmente i terrazzi e mostra un andamento quasi parallelo all'attuale linea di costa.

Il deposito è costituito da una calcarenite molto cariata se non addirittura cavernosa per effetto della corrosione delle acque marine ed in passato è stata coltivata per ottenerne pietra concia.

Sono evidenti i segni di stratificazione incrociata che marcano il passaggio a sub ambienti differenti infatti secondo il modello proposto da Strahler (1984) tale struttura può essere inquadrata in un modello dinamico di accrezione litorale tipo cordone litorale o barra emersa con evoluzione in stadi successivi dalla zona di retrobarra a laguna costiera a piana tidale; quindi, la sua natura di origine marina evolve successivamente, in genere verso l'alto, a continentale.

Tale struttura, sempre secondo l'Autore, si sviluppa in un intervallo di tempo corrispondente ad un interglaciale, di conseguenza sia i terrazzi marini sia le dune costiere rappresentano due diversi prodotti sedimentari e geometrici legati alle stesse forze dinamiche.



Foto 13: Paleoduna in località Frassino (in basso sullo sfondo). In alto particolare della stratificazione incrociata.

- **Terrazzi Marini**

Alla deposizione della calcarenite dell'Emiliano II - Siciliano segue una regressione in parte connessa ad un evento tettonico di tipo distensivo come testimoniato dalla presenza di faglie dirette.

Tale regressione, accompagnata da un periodo di stasi orogenetica, dà origine ad una lunga fase di esposizione subaerea del Pleistocene medio ("Regressione Romana", Bourcart J., 1938) con la conseguente formazione di un esteso paleosuolo (*foto 14*).

La concomitanza dei fenomeni eustatici, strettamente legati all'alternarsi di periodi glaciali ed interglaciali, e di un lento sollevamento da imputare alla tettonica pleistocenica ha prodotto la formazione di una gradinata di terrazzi marini distribuiti in più ordini. (D'Angelo & Vernuccio, 1996)

Nella fascia costiera di C.da Cornino, C.da Tuono e C.da Frassino basandoci sui criteri di identificazione proposti da Carobene (1980), sono stati individuati diversi ordini di terrazzi marini con quote comprese tra 0 m e 100 m s.l.m..

I vari ordini di terrazzi sono separati da “orli” di varie altezze. Nelle C.de Assieni e Sperone risultano molto erosi in ambiente subaereo e dall’antropismo, ricoperti da depositi continentali (terrazzi relitti).

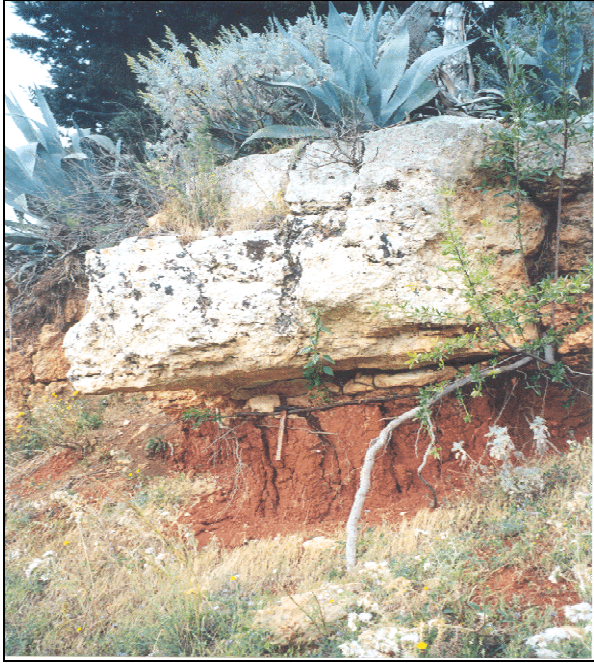


Foto 14: C.da Assieni Paleosuolo costituito da terre rosse intercalato fra i depositi del Pleistocene Medio-Sup. e quelli del Pleistocene Inf..

- **Grotte**

Nel territorio comunale di Custonaci ed in particolare lungo il litorale sono presenti numerose grotte, per la formazione delle quali, oltre all’effetto carsico, ha influito l’azione del mare che ne ha ulteriormente modellato ed ampliato le cavità.

Il processo di abrasione marina è un fenomeno di tipo meccanico, dovuto all’azione di urto e di sfregamento di detriti scagliati dal moto ondoso contro le coste alte e rocciose originando le cosiddette ripe di erosione o “falesia” che orlano e chiudono le “piattaforme di erosione marina”

Questo sistema morfologico si osserva lungo il litorale Nord Occidentale.

Al piede della sella calcarea compresa fra Monte Cofano e Portella del Cerriolo le falesie si sviluppano verso Sud con continuità e risultano interrotte soltanto dagli accumuli di detrito prodotti in parte anche dalle cave.

Alla base di esse sono presenti delle forme caratteristiche definite nella letteratura tecnica specifica “solchi di battente” ovvero concavità provocate dal moto ondoso corrispondenti al livello medio marino.

Lungo tali strutture morfologiche, a partire da Monte Cofano, si aprono alcune grotte che presentano una notevole valenza sia dal punto di vista naturalistico che antropologico.

Queste sono in genere ubicate in corrispondenza di preesistenti faglie che sono state successivamente ampliate ed approfondite dai processi di abrasione e del carsismo, originando degli ingressi con forme molto variabili e curiosi.

Tali grotte sono state senza dubbio originate dall' azione di abrasione marina che ha inizialmente formato un solco di battente che si è poi evoluto fino alla sua forma attuale.

In seguito il tutto è stato ripreso dall' azione carsica e dalla deflazione eolica.

Sul pavimento delle grotte è presente un paleosuolo costituito da terra rossa, una miscela di ossidi ed idrossidi di ferro che rappresenta un deposito residuale della dissoluzione dei calcari, il cui spessore è riconducibile alle dimensioni della grotta stessa.

Al loro interno sono stati rinvenuti numerosi e vari reperti quali utensili litici, ossa di animali, conchiglie, resti di pasto i quali ne testimoniano l'uso da parte dell'uomo fin dai tempi preistorici.

Le pareti, ed in particolare quelle più interne, si presentano coperte da patine di colore nerastro, dovute a fuliggine provocata da fuochi che venivano accesi dai nostri antenati, oppure di colore verdastro formata dall' azione organica di batteri, licheni e muffe che vivono in queste particolari condizioni di umidità ed oscurità.

Le più interessanti, procedendo da nord verso sud, sono le seguenti:

Grotte di Scurati:

La più imponente di esse "*Grotta Mangiapane*" è posta a circa 60.00m. sul livello del mare, si apre da una parete rocciosa subverticale.

Nel suo antro è stato costruito un piccolo Baglio quasi al contatto con le pareti.

Scurati è nota, ancora, per essere stata oggetto di ricerche archeologiche, di scavi condotti da studiosi francesi.

Il paleontologo francese Vaufray, in una delle grotte ha scoperto, in grande quantità, strumenti di selce paleolitici conservati in parte nell'antiquarium del Museo Pepoli di Trapani.

A circa 50 m da questa, spostandosi verso l'abitato di Cornino, si apre "*Grotta Buffa*" che si presenta con una sala ogivale larga circa 4.00 m e profonda 23.00-24.00m; è posta a circa 60.00 m s.l.m..

"*Grotta del Crocefisso*" vi si accede attraverso un sentiero che costeggia verso Nord Monte Cofano. Sovrasta una piccola cappella detta del "Crocefisso" di Cofano, luogo di pellegrinaggio.

Si presenta con un corridoio ogivale largo 6.00 m e profondo circa 23.00 m. Si approfondisce verso l'interno in un ristretto cunicolo orizzontale.

Spostandosi verso l'abitato di Scurati degna di particolare rilievo è "*Grotta Miceli*" un antro di rispettabili dimensioni posto alla quota di circa 40 m s.l.m..

Si presenta con una sala rotonda a forma di forno larga circa 5.00 m e profonda circa 12.00 m.

A valle del Costone della Zubia è posta "*Grotta Maria di Custonaci*" alla quota di circa 150 m s.l.m..

E' la più vasta di tutte in quanto a poco più di 60 m dall'ingresso dipartono due percorsi.

Il primo diretto verso Oriente porta ad un vasto ripiano dal quale si elevano bellissime colonne stalagmitiche.

Al ramo sud occidentale vi si accede mediante un pozzo che porta ad una cavità terminale detta "*Caverna Bianca*".

Le rimanenti che orlano *Rocca Rumena* sono raggiungibili tramite una trazzera che si snoda dalla strada nuova di Rumena.

Si trova ubicata su una antica linea di riva a circa 100 m di altezza.

Ha forma di forno, larga 3.00 m e profonda circa 13,00 m, è abitata e chiusa con relativo portoncino.

Comunica con una serie di antri di modeste dimensioni posti alla stessa quota s.l.m..

La grotta è formata da una sala rotonda, ben voltata, esposta a N-W, larga 3.00 m e profonda 12.00-13.00 m.

A parte le grotte di Scurati e di Rocca Rumena, gli speleologi hanno esplorato circa sedici condotti di cui quattro veramente interessanti ubicati nell'areale compreso fra la Piana di Purgatorio e Monte Palatimone.

Il più significativo di essi è il cosiddetto “*Abisso del Purgatorio*” non molto distante dell’omonima Contrada.

Si tratta di un condotto costituito da una successione di cavità verticali che raggiungono la profondità di quasi 200 m.

Ad esso si accede tramite un pozzo a cielo aperto, con imbocco coincidente con il piano campagna (Zubbia), profondo circa 10 m.

Da fondo pozzo tramite un’apertura di 70 cm circa di diametro ci si immette al pozzo successivo, che scende sino alla profondità di 60 m, alla base del quale è posta un’altra cavità quasi totalmente occlusa da blocchi di crollo.

Un’altra serie di pozzi adducono ad una sala di circa 15x20 metri, ricca di concrezioni calcitiche aventi varie morfologie: colate stalattitiche, vaschette concrezionate, mensole, etc.

5- CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Per valutare le condizioni idrostrutturali del territorio di Custonaci sono state esaminate le caratteristiche idrogeologiche dei terreni affioranti, al fine di fornire un'indicazione preliminare sulle caratteristiche di permeabilità delle rocce e sulle potenziali aree di ricarica e di protezione delle falde idriche.

Da un primo esame generale risulta che il territorio è privo di un vero e proprio reticolo idrografico superficiale a causa dell'elevata permeabilità delle formazioni rocciose che favorisce l'infiltrazione delle acque meteoriche a vantaggio della circolazione idrica profonda.

I principali corsi d'acqua sono rappresentati dal Canale Biro che costeggia il versante settentrionale di monte Palatimone e dal Torrente Forgia che incide con andamenti meandriformi terreni a prevalente composizione argillosa mentre nel tratto finale a valle di una gola profonda, interessa le effusiviti ed i calcari cretacei, prima sfociare nel golfo di Cornino.

5.1 - Permeabilità degli affioramenti

Le formazioni che caratterizzano il territorio presentano caratteristiche idrogeologiche basate sulla litologia (*granulometria e grado di cementazione*), sul tipo e grado di permeabilità distinguibili sostanzialmente in tre complessi:

1. *complesso permeabile per porosità;*
2. *complesso permeabile per fratturazione e carsismo;*
3. *complesso impermeabile.*

1) Complesso permeabile per porosità

Comprende le formazioni sabbiose calcarenitiche plio-pleistoceniche che ricoprono le pianure costiere e la vallecchia di Purgatorio, i detriti di falda incoerenti ed i depositi alluvionali recenti a prevalente frazione sabbiosa e ghiaiosa.

Trattasi di una permeabilità di tipo primario dipendente dalla tessitura spaziale, con coefficiente di permeabilità (K) variabile in un range compreso tra 10^{-1} cm/s e 10^{-3} cm/s.

2) Complesso permeabile per fatturazione e carsismo

Sono stati raggruppati in questo complesso la maggior parte dei litotipi carbonatici che costituiscono le dorsali collinari e montuose del territorio: le formazioni calcareo-dolomitiche mesozoiche, le brecce calcaree e le calcilutiti del Cretaceo Medio - Eocene.

Ad esse compete una bassa permeabilità primaria per porosità, mentre quella secondaria dovuta a fessurazione e carsismo è elevata o molto elevata.

La componente carbonatica può essere considerata permeabile, mentre si comportano da mezzi poco permeabili le calcilutiti e le marne.

L'alternarsi di orizzonti di bassa e di alta permeabilità, favoriscono nell'ammasso roccioso delle soluzioni preferenziali di scorrimento per le acque sotterranee in un sistema complicato ulteriormente dalle forme carsiche.

Il coefficiente di permeabilità (K) dipendente pertanto dall'intensità con la quale si manifestano sia i processi di dissoluzione chimica sia gli stress tettonici risultando così variabile entro un range compreso tra 10^{-2} cm/s e 10^{-4} cm/s.

3) Complesso impermeabile

Si tratta in massima parte di quelle formazioni geologiche in cui l'infiltrazione si esplica così lentamente che possono essere considerate praticamente impermeabili.

Fanno parte di questa categoria le argille affioranti nella zona meridionale del Comune in corrispondenza del bacino del Torrente Forgia caratterizzate da un coefficiente di permeabilità $10^{-7} < K < 10^{-9}$ cm/s.

5.2 - Corpi idrogeologici

Per la valutazione delle condizioni idrostrutturali del territorio sono state esaminate le caratteristiche idrogeologiche dei terreni affioranti ed individuati cinque complessi idraulicamente separati tra di loro per l'assetto tettonico:

1. Monte Cofano
2. Monte Bufara-Zimmara
3. Monte Palatimone
4. Monte Sparagio est
5. Monte Sparagio Ovest.

6- CARATTERISTICHE CLIMATICHE: ANALISI DEL REGIME PLUVIO-TERMOMETRICO

I fattori meteorologici che influenzano prevalentemente i fenomeni di ruscellamento e di infiltrazione delle acque nel sottosuolo sono i seguenti: le precipitazioni, la temperatura, lo stato igrometrico dell'aria, i venti, la pressione atmosferica, l'umidità ed altri di minore importanza.

Le precipitazioni incidono innanzi tutto con la loro quantità. Infatti, ad un maggiore volume d'acqua caduta in tempi relativamente lunghi (per esempio un anno), corrispondono maggiori quantitativi d'acqua d'infiltrazione e di ruscellamento.

La prevalenza dell'infiltrazione sul ruscellamento o viceversa è generalmente legata ad altri fattori quali quelli morfologici, geologici e biologici (vegetazione), ma anche l'influenza della qualità delle acque atmosferiche (precipitazioni nevose o pluviali).

L'apporto d'acqua di pioggia al sottosuolo è legato ad altri fattori quali la durata e l'intensità degli eventi piovosi. Infatti, a parità di millimetri d'acqua caduti, l'infiltrazione è più agevole se la distribuzione nel tempo è più lunga.

Al contrario, nel caso di piogge intense e brevi, può crearsi uno strato superficiale saturo del suolo dovuto ad una velocità d'assorbimento del terreno inferiore a quella d'afflusso delle acque; ciò comporta un aumento delle aliquote d'acqua di ruscellamento.

Le temperature dell'aria e del suolo influenzano anch'esse l'infiltrazione ed il ruscellamento in modo marcato. Un'elevata temperatura dell'aria, infatti, può determinare alti valori d'evapotraspirazione, mentre il suolo gelato costituisce un elemento impermeabile che agevola il deflusso superficiale.

Infine, anche lo stato igrometrico dell'aria incide indirettamente sull'infiltrazione poiché, ad una maggiore umidità relativa, corrispondono minori quantitativi d'acqua di evapotraspirazione.

6.1 - Climatologia

Per pervenire ad una esauriente indagine idrogeologica si è ritenuto indispensabile determinare le caratteristiche climatiche dell'ambito territoriale customacese, sulla base di considerazioni prettamente statistiche.

La variabilità stagionale causata dai grandi sistemi barici, anticiclone atlantico, anticiclone siberiano e depressione africana, risulta accentuata dalla posizione geografica del territorio di Customaci che si trova al centro del Mediterraneo.

Relativamente piovosa è la stagione autunnale, un po' meno l'inizio della primavera con variabilità di precipitazioni da un anno all'altro sia per frequenza che per intensità

Per la definizione delle caratteristiche climatiche sono stati utilizzati *i dati pluviometrici* rilevati dagli annali del *Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici* prendendo come riferimento la Stazione pluviometrica di *Lentina (125 m s.l.m.)* ed *i dati termometrici* disponibili registrati dalla Stazione di *San Vito Lo Capo (3 m s.l.m.)*.

L'apporto idrico di origine meteorica, ricavato dalla stima della precipitazione media registrata annualmente dalla stazione di Lentina è risultata pari a 583,6 mm/anno.

L'andamento del regime pluviometrico annuale è caratterizzato da un massimo di piovosità all'inizio del periodo invernale che la stazione ha registrato nel mese di Novembre con un valore medio pari a 94,1 mm, ed un minimo estivo con precipitazioni bassissime con un valore medio di 4,3 mm nel mese di Luglio.

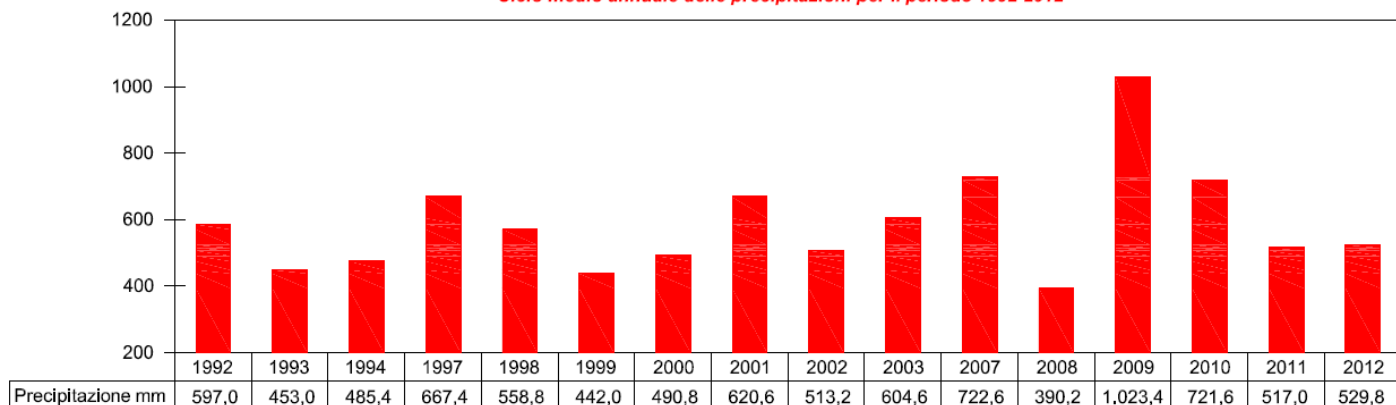
Nelle tabelle seguenti viene sintetizzata la raccolta di dati e l'analisi statistica eseguita per il periodo 1992 - 2012.

Stazione pluviometrica di Lentina
Periodo 1992-2012

Anno	Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Tot.
1992	120,6	7,0	17,2	39,4	38,4	9,0	19,4	17,6	31,8	58,2	107,6	130,8	597,0
1993	38,0	39,0	46,4	28,6	56,2	-	-	-	32,8	107,4	93,4	11,2	453,0
1994	106,4	73,0	-	12,8	13,0	1,2	7,2	-	3,2	93,2	56,4	119,0	485,4
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	32,4	26,4	14,0	25,0	3,8	3,6	-	30,2	70,8	125,4	164,0	171,8	667,4
1998	95,6	38,4	43,8	21,8	12,2	-	-	58,0	85,8	95,2	47,0	61,0	558,8
1999	6,2	16,6	6,4	32,0	2,4	-	11,6	1,0	30,6	84,8	162,0	88,4	442,0
2000	23,4	39,0	18,0	46,6	23,6	5,2	-	-	124,6	54,0	71,4	85,0	490,8
2001	136,0	103,2	14,0	68,4	60,4	-	-	2,2	34,0	0,2	129,6	72,6	620,6
2002	44,4	23,8	2,0	42,4	36,2	8,0	2,4	20,4	31,2	66,2	120,4	115,8	513,2
2003	131,4	46,0	13,2	59,2	8,2	2,0	-	17,0	38,8	64,0	175,0	49,8	604,6
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2007	24,0	102,4	140,6	51,4	7,6	35,6	-	0,8	60,0	106,0	108,8	85,4	722,6
2008	24,0	17,6	109,2	21,6	5,8	1,6	0,6	-	42,2	43,4	28,0	96,2	390,2
2009	166,4	118,4	68,4	96,0	7,8	12,8	0,4	-	197,0	159,6	64,8	131,8	1023,4
2010	148,8	105,4	50,6	65,6	6,2	4,8	10,4	0,2	111,4	102,2	65,2	50,8	721,6
2011	77,2	85,4	51,2	69,6	29,4	3,0	2,6	-	21,2	78,2	25,2	74,0	517,0
2012	32,6	92,6	45,0	38,0	26,6	-	14,8	-	68,2	61,4	86,2	64,4	529,8
media	75,5	58,4	40,0	44,9	21,1	5,4	4,3	9,2	61,5	81,2	94,1	88,0	583,6 mm

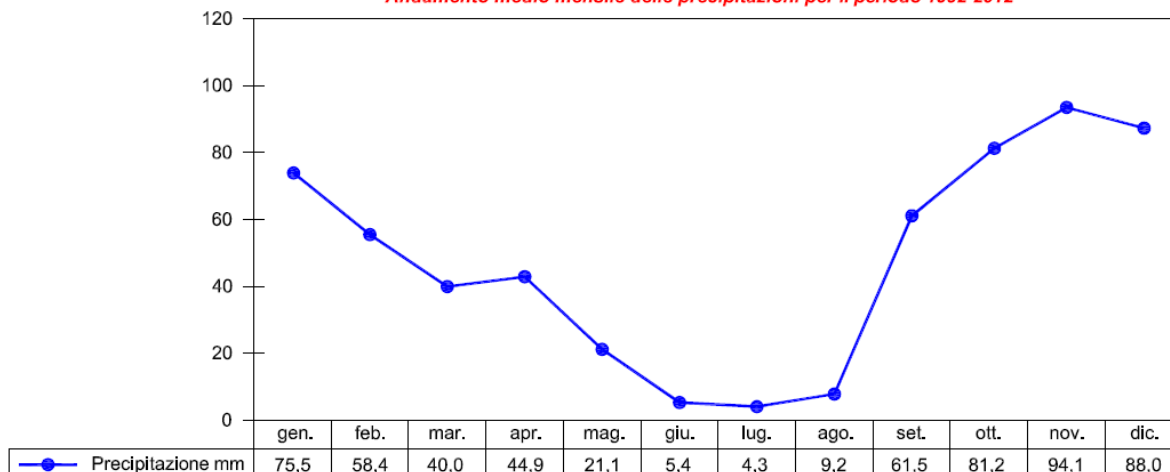
Stazione Pluviometrica di Lentina

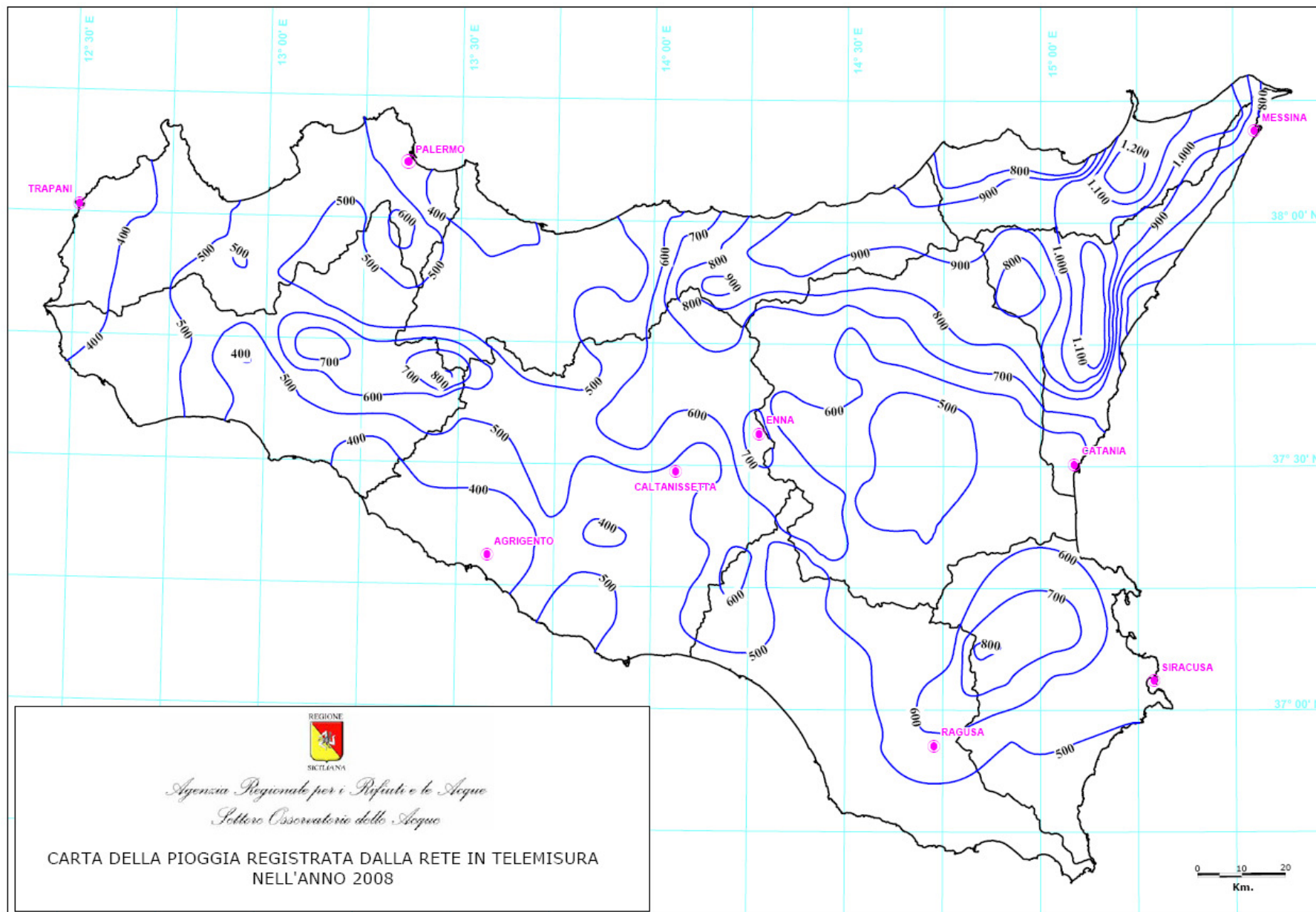
Ciclo medio annuale delle precipitazioni per il periodo 1992-2012



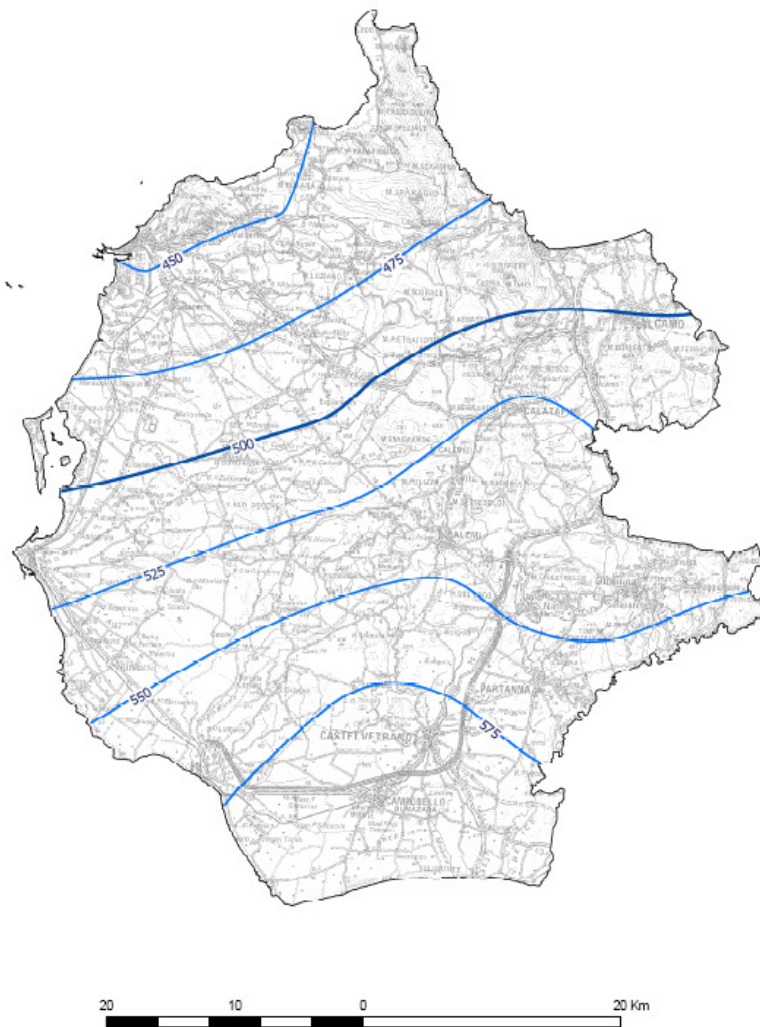
Stazione Pluviometrica di Lentina

Andamento medio mensile delle precipitazioni per il periodo 1992-2012





Carta delle isoiete della provincia di Trapani per l'anno 2006



Stazione termometrica di San Vito Lo Capo
Periodo 1992-2012

	Termometria (T °C max)	Termometria (T °C min)	Termometria (T °C media tra max e min)
Anno	Tot. annuo (°C)	Tot. annuo (°C)	Tot. annuo (°C)
1992	22,8	15,8	19,3
1993	22,7	15,6	19,1
1994	24,9	17,3	21,1
1995	24,0	16,7	20,4
1996	22,0	15,1	18,5
1997	23,0	15,7	19,3
1998	-	-	-
1999	-	-	-
2000	-	-	-
2001	-	-	-
2002	-	-	-
2003	-	-	-
2004	-	-	-
2005	22,3	15,2	18,8
2006	23,3	16,0	19,6
2007	23,4	16,2	19,8
2008	25,0	16,8	20,9
2009	-	-	-
2010	-	-	-
2011	-	-	-
2012	24,1	16,5	20,3
Medie	23,4°	16,1°	19,7°C

7- BILANCIO IDROLOGICO

Le caratteristiche geologiche dei bacini ed i dati climatologici ci hanno consentito di definire il modello idrogeologico e di valutare la potenzialità idrografica.

Per eseguire un esame completo del bilancio idrogeologico, sono stati utilizzati i seguenti parametri:

P = Apporti diretti da precipitazioni;

PE = Apporti esterni per ruscellamento;

Er = Evapotraspirazione;

R = Ruscellamento;

le = Infiltrazione efficace;

legati tra loro dalla seguente Formula di Scholler:

$$P + PE = Er + R + le$$

L'acqua che viene considerata nel calcolo del bilancio è stata ricercata in quella di origine pluviale ed in quella parte che, come deflusso superficiale del bacino idrografico vicino a quello idrogeologico in questione, scorre all'interno degli stessi e va a cumularsi con la prima.

7.1 - Valutazione di “P” (precipitazione media annua)

Il valore di precipitazione media annua, ottenuta mediando i valori dell'intervallo cronologico 1992/2012 è stato “corretto”, mediante opportuno diagramma al fine di considerare le variazioni di altitudine della stazione rispetto alle aree di assorbimento, ragion per cui tale valore può considerarsi caratteristico di quel particolare bacino d'assorbimento.

La piovosità media annua, (**P**) in mm/a, per l'intero bacino risulta essere:

$$\mathbf{P = 583,6 \text{ mm/a}}$$

Considerando un apporto esterno dai bacini contigui pari a **PE = 58,4 mm/a**, la piovosità media annua (P) in mm/a, per il bacino considerato risulta essere:

$$\mathbf{P + PE = 642,0 \text{ mm/a}}$$

7.2 - Calcolo di Tp (temperatura fittizia media ponderata)

Le temperature medie considerate (**Ti**) sono state messe in relazione con le precipitazioni medie mensili (**Pi**) dello stesso periodo d'osservazione mediante l'espressione:

$$T_p = \frac{\sum T_i \times P_i}{\sum P_i}$$

In cui:

Pi = precipitazioni medie mensili, in mm/a

Ti = temperature medie mensili, in °C, relative allo stesso periodo di riferimento del bilancio.

Anche il valore di *Tp* è stato successivamente corretto tenendo conto della differenza di altitudine tra la stazione termometrica e l'altitudine media dell'area d'assorbimento assumendo così un valore caratteristico pari a:

$$\mathbf{T_p = 19,7^\circ\text{C}}$$

7.3 - Valutazione del coefficiente di deflusso (d)

Per la valutazione del coefficiente di deflusso medio annuo (d) dei bacini abbiamo tenuto conto, oltre che dei caratteri climatici anche dei caratteri litologici, geomorfologici e vegetazionali della zona che sono tali da limitare al massimo il deflusso superficiale, come è evidenziato dalla mancanza di un reticolo idrografico consistente.

Per cui alla luce dei bilanci diretti eseguiti abbiamo ritenuto opportuno valutare alla stessa stregua un coefficiente di deflusso medio pari a 0,05 dell'acqua di precipitazione.

7.4 - Infiltrazione efficace (I_e)

Per la valutazione di questo parametro si è dovuto tenere conto delle caratteristiche di permeabilità dei terreni, caratteristiche che influenzano direttamente l'evapotraspirazione, il ruscellamento ed il potere di assorbimento.

Variando le caratteristiche di permeabilità da sito in sito, non è stato possibile fare considerazioni quantitative relative ad esse.

Poiché queste variazioni non conducono a sostanziali differenze riguardo al potere assorbente dei terreni, si è ritenuto opportuno considerarle nella globalità, pervenendo alla valutazione del parametro deflusso superficiale.

Applicando la relazione (1) abbiamo desunto i volumi d'acqua (I_e) che vanno ad alimentare la falda acquifera mediamente in un anno per ogni mq di bacino.

Tali valori hanno consentito di valutare quantitativamente l'accumulo idrico annuale e la portata teorica della falda.

In sintesi il valore dell'infiltrazione efficace è pari a:

$$(1) \quad I_e = P - R - E_r$$

La valutazione della riserva idrica dell'acquifero attraverso un qualunque metodo di emungimento è in relazione agli apporti idrici che effettivamente si infiltrano nel sottosuolo (V).

La valutazione di tali quantitativi viene riassunta nel cosiddetto bilancio idrogeologico di un territorio, valutazione che viene effettuata considerando il volume delle precipitazioni che annualmente cadono sul territorio decurtato del volume d'acqua che viene restituito all'atmosfera per evapotraspirazione e per ruscellamento.

Il calcolo dell'evapotraspirazione reale media annua (E_r) viene effettuata utilizzando le formule empiriche del Turc così come proposta dal Prof. Santoro, per l'ambiente siciliano, al convegno dell'E.S.A. A.I.H. del 6-8/12/1970 tenutosi a Palermo (atti di convegno).

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{a + \frac{P^2}{L^2}}} = 509,5 \text{ mm/a}$$

Dove:

P = *modulo pluviometrico annuo in mm/a*

L = $b - cTp + dTp^3 = 771,3$ (*potere evaporante dell'atmosfera*)

a, b, c, d = *parametri correttivi che tengono conto dei fattori climatici legati alla vegetazione e dei fattori geomorfologici con i seguenti valori adottati per le zone temperate (Santoro):* **a=0.9 b=586 c=10 d=0.05**

Alla luce della piovosità media annua ($P+PE$) e del coefficiente di deflusso (**d**) assunto in **0.05** risulta che il ruscellamento (**R**) è ricavabile da:

$$R = d \times P = 0,05 \times 642,0 = 32,1 \text{ mm/a}$$

Acquisiti i seguenti parametri attraverso la formula adottata per il calcolo del bilancio idrologico ci ricaviamo l'infiltrazione efficace (**I_e**):

$$I_e = P - R - E_r = 642,0 - 32,1 - 509,5 = 100,4 \text{ mm/a}$$

8- VALUTAZIONE DELLE POTENZIALITA' DEI BACINI D'ASSORBIMENTO

Il quantitativo idrico che un acquifero può fornire attraverso un qualunque metodo di emungimento è in relazione agli apporti idrici che effettivamente si infiltrano nel sottosuolo (**V**).

La valutazione di tali quantitativi viene riassunta nel cosiddetto bilancio idrologico indiretto di un territorio, valutazione che viene effettuata considerando il volume delle precipitazioni che annualmente cadono sui bacini d'assorbimento decurtato del volume d'acqua che viene restituito all'atmosfera per evaporazione e per ruscellamento.

Acquisiti i vari parametri, attraverso la formula adottata per il calcolo del bilancio idrologico indiretto ($I = P - R - Er$), ci ricaviamo l'infiltrazione efficace (**I**).

Tale valore (**I**) rappresenta quanti millimetri di acqua si infiltrano effettivamente per ogni m² di territorio in un anno che moltiplicato per l'areale dei relativi bacini d'assorbimento ci fornisce **V**, ovvero il volume d'accumulo idrico, in m³, che una falda può dare annualmente (contributo annuo).

Tale valore, può essere espresso anche in termini di portata (**P**) in l/s tramite la seguente formula:

$$P = V / 31536000$$

che rappresenta il quantitativo massimo d'acqua che può essere emunta tramite pozzi per ogni Km², senza intaccare la riserva idrica che corrisponde all'acqua presente nella falda oltre il contributo annuo.

Di seguito si riportano le caratteristiche di ogni bacino d'assorbimento in relazione a quanto esposto precedentemente, escludendo il bacino del monte Cofano che come precedentemente affermato drena le acque direttamente a mare senza che vi sia la possibilità di formarsi una falda idrica sfruttabile:

Monte Bufara-Zimmara	
Ruscellamento	R(mm/a) = 72
Area del bacino	S(Km ²) = 15,09
Evapotraspirazione	Er(mm) = 481,3
Infiltrazione efficace	I (mm/a) = 166,7
Volume del bacino	V(m ³) = 2.515.503
Portata	P(l/s) = 79,76

Monte Palatimone	
Ruscellamento	$R(\text{mm/a}) = 81$
Area del bacino	$S(\text{Km}^2) = 9,61$
Evapotraspirazione	$E_r(\text{mm}) = 504$
Infiltrazione efficace	$I(\text{mm/a}) = 225$
Volume del bacino	$V(\text{m}^3) = 2.162.250$
Portata	$P(\text{l/s}) = 68,56$

Monte Sparagio Ovest	
Ruscellamento	$R(\text{mm/a}) = 92$
Area del bacino	$S(\text{Km}^2) = 15,88$
Evapotraspirazione	$E_r(\text{mm}) = 511,7$
Infiltrazione efficace	$I(\text{mm/a}) = 316,3$
Volume del bacino	$V(\text{m}^3) = 5.022.844$
Portata	$P(\text{l/s}) = 159,27$

Monte Sparagio Est	
Ruscellamento	$R(\text{mm/a}) = 102$
Area del bacino	$S(\text{Km}^2) = 13,45$
Evapotraspirazione	$E_r(\text{mm}) = 518,7$
Infiltrazione efficace	$I(\text{mm/a}) = 397,3$
Volume del bacino	$V(\text{m}^3) = 5.343.685$
Portata	$P(\text{l/s}) = 169,44$

9- RISCHIO IDROGEOLOGICO

La metodologia di valutazione del rischio idrogeologico adottata è conforme alle linee guida riportate nella Relazione Generale del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dell'Assessorato Territorio ed Ambiente della Regione Sicilia.

Il territorio del Comune di Custonaci si estende per più della metà della sua superficie nell'area territoriale compresa fra il Torrente Forgia e Punta di Solanto, (047) dove è inclusa la quasi totalità dei centri abitati. La restante parte ricade per una porzione nel bacino idrografico del Torrente Forgia e per l'estrema propaggine sud orientale nell'area territoriale tra il Bacino del Fiume San Bartolomeo e Punta di Solanto (046)

La valutazione del rischio è il risultato del prodotto di tre fattori:

- *pericolosità o probabilità di accadimento dell'evento calamitoso;*
- *valore degli elementi a rischio (intesi come persone, beni localizzati, patrimonio ambientale);*
- *vulnerabilità degli elementi a rischio* (che dipende sia dalla loro capacità di sopportare le sollecitazioni esercitate dall'evento, sia dall'intensità dell'evento stesso).

Conseguentemente, l'atto d'indirizzo e coordinamento definisce quattro classi di rischio:

- **moderato R1:** per il quale i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono marginali;
- **medio R2:** per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- **elevato R3:** per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici ed alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- **molto elevato R4:** per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

In funzione di ciò, sia sulla base di conoscenze in merito agli eventi accaduti e dei danni subiti da uomini e cose che sulla base di valutazioni quantitative, in termini comparativi, dei fattori di *pericolosità, valore e vulnerabilità*, basati su elementi parametrizzabili, in relazione a quanto è emerso dallo studio geomorfologico di cui al precedente capitolo, è stato possibile valutare sia il rischio per frana che quello idraulico, per i quali, a causa della differenza degli elementi che concorrono alla loro determinazione, si ritiene opportuno distinguere le valutazioni in due distinti paragrafi.

9.1 - Rischio per frana

Nella valutazione della pericolosità da frana svolgono un ruolo determinante:

- ***l'intensità o magnitudo (M)*** intesa come “severità” meccanica e geometrica del fenomeno potenzialmente distruttivo. Può essere espressa in una scala relativa oppure in termini di una o più grandezze caratteristiche del fenomeno;
- ***lo stato di attività***, che fornisce una valutazione di tipo temporale e quindi probabilistica.

La stima dell'intensità di una frana, la cui severità dipende da una serie di fattori di difficile valutazione, tra cui la velocità del movimento, le dimensioni del fenomeno franoso e l'energia cinetica sviluppata, può essere effettuata in maniera speditiva definendola come relazione intercorrente tra le dimensioni areali del dissesto (*o il suo volume nel caso delle frane di crollo*) e la sua tipologia.

La tipologia delle frane, tenendo in considerazione la velocità di accadimento, è classificata come segue:

- ***T1: deformazioni gravitative profonde in roccia, creep, espansione laterale, colate lente;***
- ***T2: frane complesse, scorrimenti e colamenti in roccia, detrito e terra;***
- ***T3: scivolamenti rapidi in roccia, detrito e terra, crolli, colate rapide di fango.***

Per dare una stima dell'intensità del fenomeno franoso si definisce la matrice di magnitudo di cui alla *fig. 1*.

		Tipologia di frana		
Estensione(m ²)	Volume(m ³)	T1	T2	T3
<10 ⁴	<1	M1	M2	M3
10 ⁴ ÷10 ⁵	>1	M2	M3	M4
10 ⁵ ÷10 ⁶	>1	M2	M3	M4
>10 ⁶	>1	M3	M4	M4

Fig.1 - Matrice di Magnitudo

La suddivisione adottata per lo stato d'attività di una frana è la seguente:

- **attiva o riattivata:** se è attualmente in movimento;
- **inattiva:** se si è mossa l'ultima volta prima dell'ultimo ciclo stagionale;
- **quiescente:** se può essere riattivata dalle sue cause originali; se si tratta di fenomeni non esauriti di cui si hanno notizie storiche o riconosciuti solo in base ad evidenze geomorfologiche;
- **stabilizzata artificialmente o naturalmente:** se è stata protetta dalle sue cause originali da interventi di sistemazione o se il fenomeno franoso si è esaurito naturalmente, ovvero non è più influenzato dalle sue cause originali.

Dalla correlazione tra magnitudo e stato di attività è possibile ricavare una valutazione indicativa della pericolosità secondo lo schema di *fig.2*.

STATO DI ATTIVITA'	MAGNITUDO			
	M1	M2	M3	M4
Stabilizzata naturalmente o artificialmente	P0	P0	P0	P1
Quiescente	P0	P1	P1	P2
Inattiva	P1	P1	P2	P3
Attiva o riattivata	P1	P2	P3	P4

Fig.2 - Matrice di pericolosità

Attraverso la metodologia sopra esposta si arriva alla determinazione, per ogni singolo evento franoso, del rischio, individuato in base alla correlazione tra pericolosità e danno atteso. Nella definizione di quest'ultimo entrano in gioco:

- *gli **elementi a rischio (E)** rappresentati dalla popolazione, dalle abitazioni, dalle attività economiche e dai beni culturali che possono subire danni in conseguenza del verificarsi del fenomeno.*

- la loro **vulnerabilità**, intesa come grado di perdita prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti al rischio, risultante dal verificarsi di un fenomeno naturale di una data intensità.

Gli elementi a rischio vengono classificati in quattro classi secondo quanto riportato nella *fig.3*.

Elementi a rischio		V U L N E R A B I L I T À
E1	Aree sede di servizi pubblici e privati Impianti sportivi e ricreativi Case sparse Insediamenti agricoli e zootecnici Cimiteri	
E2	Linee di comunicazione secondarie (strade provinciali e comunali) Acquedotti Fognature Impianti di depurazione e trattamento rifiuti	
E3	Nucleo abitato Insediamenti artigianali e industriali Impianti D.P.R. 175/88 Infrastrutture di servizio (gasdotti, elettrodotti) Linee di comunicazione principale (autostrade, strade statali, linee ferroviarie) Patrimonio ambientale e beni culturali (aree naturali protette, aree sottoposte a vincoli ai sensi della Legge 1497 e 439)	
E4	Centro abitato	

Fig. 3 - Classificazione degli elementi a rischio

Attraverso la combinazione della **pericolosità P** e degli **elementi a rischio E** si arriva alla determinazione del **rischio R** secondo la matrice riportata in *fig.4*.

		Elementi a rischio			
Pericolosità		E1	E2	E3	E4
	P0	R1	R1	R1	R1
	P1	R1	R1	R2	R2
	P2	R2	R2	R3	R4
	P3	R2	R3	R4	R4
	P4	R3	R3	R4	R4

Fig. 4 - Matrice di rischio

E' importante precisare che il rischio calcolato seguendo la procedura fino ad ora descritta non può essere inteso in termini assoluti, piuttosto è un elemento che consentendo la comparazione di più situazioni, permette il raggruppamento in più classi dei vari dissesti in funzione del rischio relativo.

Da ciò deriva che se una situazione risulta appartenere ad una classe di rischio basso, ciò non implica che la situazione non sia "rischiosa" in termini assoluti ma piuttosto che, in una scala di priorità, essa è di ordine inferiore rispetto a situazioni che appartengono a categorie di rischio alto.

9.1.1 - Descrizione dei dissesti

Le pericolosità connesse ai 24 dissesti individuati nel territorio customacese sono così distribuite:

Bacino 048:

- n.1 area a pericolosità media (P2);
- n.3 aree a pericolosità elevata (P3);
- n.1 area a pericolosità molto elevata (P4).

Bacino 047:

- n.6 aree a pericolosità media (P2);
- n.13 aree a pericolosità molto elevata (P4).

Gli elementi vulnerabili sono compresi nelle classi tra E1 ed E3 ed i rischi connessi sono così distribuiti:

Bacino 048:

- n.1 area a rischio moderato (R2);
- n.4 aree a rischio elevato (R3).

Area territoriale 047:

- n.5 aree a rischio elevato (R3);
- n.1 area a rischio molto elevato (R4).

Le tipologie di frana riscontrate nel territorio comunale, sono quelle di crollo e/o ribaltamento e rotolamento.

Sigla	Bacino idrografico	Provincia	Comune	Località	CRT 1:10000	Tipologia	Attività	Pericolosità	Rischio
048-9CU-001	Torrente Forgia	Trapani	Custonaci	Piano Dei Tribli	592120	1	A	3	2-3
048-9CU-002	Torrente Forgia	Trapani	Custonaci	Sanguigno	592120	1	A	3	
048-9CU-003	Torrente Forgia	Trapani	Custonaci	Casa Fontana	593090	11	A	2	
048-9CU-004	Torrente Forgia	Trapani	Custonaci	Assieni	593090	1	A	3	
048-9CU-005	Torrente Forgia	Trapani	Custonaci	Monte Bufara	593090	1	A	4	3
047-9CU-001	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Casa Rizzo	593100	11	A	2	
047-9CU-002	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Casa Rizzo	593100	11	A	2	
047-9CU-003	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Casa S. Madre Chiesa	593090	11	A	2	
047-9CU-004	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Casa S. Madre Chiesa	593090	11	A	2	
047-9CU-005	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Portella del Cerriolo	593090	1	A	4	3
047-9CU-006	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Portella del Cerriolo	593090	1	A	4	
047-9CU-007	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Portella Cipollazzo	593090	11	A	2	
047-9CU-008	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Portella Cipollazzo	593090	1	A	4	
047-9CU-009	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Rocche del Tuono	593050	1	A	4	3
047-9CU-010	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Pizzo Corvo	593050	1	A	4	3
047-9CU-011	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Monte Cofano	593050	1	A	4	3
047-9CU-012	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Monte Cofano	593050	1	A	4	3

Sigla	Bacino idrografico	Provincia	Comune	Località	CRT 1:10000	Tipologia	Attività	Pericolosità	Rischio
047-9CU-013	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Monte Cofano	592080	1	A	4	
047-9CU-014	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Monte Cofano	592080	1	A	4	
047-9CU-015	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Monte Cofano	592080	1	A	4	
047-9CU-016	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Monte Cofano	593050	1	A	4	
047-9CU-017	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Monte Cofano	593050	1	A	4	
047-9CU-018	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	Scurati	593090	1	A	4	4
047-9CU-019	Area territoriale tra il Bacino del T.te Forgia e Punta di Solanto	Trapani	Custonaci	C.da Colomba	593100	11	A	2	

Nella Carta delle Pericolosità Geologiche (Tav. 4B) è stata individuata un'area a rischio di tipo **R4** in **C.da Scurati**.

- **Scurati (Codice P.A.I. 047-9CU-018)**

Quest'area comprende la piana di abrasione marina sottostante il costone roccioso ad W-SW di Scurati, ed una paleofalesia intensamente fratturata, con pareti strapiombanti alte fino a 40 m.

Nel costone roccioso sono presenti blocchi di roccia disarticolati in genere superiori al metro cubo.

Lungo le traiettorie di tali blocchi, così come evidenziato dalle simulazioni delle traiettorie effettuate con l'ausilio di software specialistico allegate alla presente, sono presenti numerose abitazioni costruite al piede della parete rocciosa.

La zona è inoltre attraversata da una stradella che conduce in C.da Mangiapane.

Il fenomeno è da considerarsi attivo, in quanto spesso si verificano fenomeni di enucleazione di blocchi di piccola dimensione o in concomitanza di variazioni climatiche legate al ciclo stagionale (*piogge intense, frequenti escursioni termiche*) o per la continua azione disagregante degli apparati radicali della vegetazione presente lungo la parete.

Si tratta di fenomeni non esauriti ed in continua evoluzione di cui si hanno anche notizie storiche ed il cui effetto è ben riconoscibile dalle evidenze geomorfologiche.

Dall'applicazione delle linee guida, risulta che l'area è soggetta a **“rischio molto elevato di tipo R4”**:

Tipologia di frana T3 = crolli
Magnitudo M4 = T3/volume dei blocchi > 1 m³
Pericolosità P4 = M4/stato di attività (attiva)
Vulnerabilità E3 = nucleo abitato
Rischio Molto Elevato R4 = P4/ elementi a rischio E3 (nucleo abitato)

- **Portella del Cerriolo (Codice P.A.I. 047-9CU-005), Rocche del Tuono (047-9CU-009), Pizzo Corvo (047-9CU-011), Monte Cofano (Codici PAI 047-9CU-011/012)**

Queste aree comprendono versanti posti al disotto di pareti rocciose pertanto ricadenti nelle traiettorie di blocchi disarticolati che mettono a rischio strade comunali ed alcune abitazioni rurali presenti alla base dei costoni rocciosi.

I fenomeni sono da considerarsi attivi, in quanto spesso si verificano fenomeni di crollo o in concomitanza di variazioni climatiche legate al ciclo stagionale (*piogge intense, frequenti escursioni termiche*) o per la continua azione disgregante degli apparati radicali della vegetazione presente in abbondanza lungo la parete.

Si tratta di fenomeni non esauriti ed in continua evoluzione di cui si hanno anche notizie storiche ed il cui effetto è ben riconoscibile dalle evidenze geomorfologiche.

La volumetria dei blocchi rotolati in genere è superiore al metro cubo.

Dall'applicazione delle linee guida, risulta che dette aree è soggetta a **“rischio elevato di tipo R3”** :

Tipologia di frana T3 = crolli
Magnitudo M4 = T3/volume dei blocchi > 1 m³
Pericolosità P4 = M4/stato di attività (attiva)
Vulnerabilità E2 = linee di comunicazione secondarie
Rischio Elevato R3 = P4/ elementi a rischio E2 (strada comunale)

9.2 - Rischio idraulico

Le problematiche attinenti alla difesa idraulica del territorio e più precisamente la valutazione della pericolosità da esondazione dei corsi d'acqua che attraversano il territorio in esame e la conseguente perimetrazione delle aree ad esse contigue e soggette a rischio idraulico, vertono intorno alla possibilità di valutare la portata temibile al colmo di piena.

Quest'ultima che, nella maggior parte dei casi, è originata dalle precipitazioni meteoriche, dipende dalle caratteristiche, variabili sia nel tempo che nello spazio, che le stesse subiscono durante il ciclo idrologico.

Per tale motivo, essendo praticamente impossibile calcolare la portata al colmo di piena prevedibile in maniera deterministica occorre affrontare il problema in termini probabilistici.

Infatti, la valutazione della pericolosità da fenomeni d'esondazione è funzione sia della probabilità di accadimento dell'evento che dell'intensità dello stesso.

Per quanto attiene la prima, essa può essere correlata al tempo di ritorno dell'evento di piena, ossia all'intervallo di tempo in cui tale evento può verificarsi almeno una volta. In questo caso, le direttive discendenti dal D.P.C.M. 29/09/98, e le indicazioni fornite dalle linee guida compilate dall'A.R.T.A ed allegate alla circolare n. 15419 del 07/03/2003, definiscono, in base al tempo di ritorno, tre diverse probabilità:

- **Alta** probabilità d'inondazione per tempi di ritorno **Tr 20-50 anni**;
- **Moderata** probabilità d'inondazione per tempi di ritorno **Tr 100-200 anni**;
- **Bassa** probabilità d'inondazione per tempi di ritorno **Tr 300-500**.

Per quanto riguarda, invece, l'intensità del fenomeno, essa è legata ad aspetti dinamici e volumetrici.

Pertanto, per la valutazione di quest'ultima possono essere considerati parametri rappresentativi quali l'estensione dell'area interessata dall'esondazione ed il battente idraulico delle aree allagate.

La prima fase, dunque, dell'indagine sul regime di piena riguarda la determinazione delle portate al colmo per un assegnato tempo di ritorno.

La fase successiva riguarda il sistema di smaltimento delle portate di piena e la delimitazione delle aree esondabili.

Dunque, le due fasi d'indagine suddette concorrono a definire il ***rischio d'inondazione o rischio idraulico***.

Le verifiche idrauliche sono state effettuate esclusivamente per i bacini che, per la loro posizione rispetto al centro abitato ed alle zone intensamente urbanizzate, possono costituire fonte di pericolosità e conseguentemente di rischio.

Relativamente agli altri bacini, per i quali non sono state osservate particolari situazioni di pericolosità anche in funzione della loro distanza da aree urbanizzate, devono valere i vincoli imposti dal R.D. n.523 del 25/07/1904.

9.2.1 - Contrada “Assieni”

L’abitato di C.da Assieni nel P.A.I. era stato identificato a rischio di esondazione molto elevato (R4). Nella figura seguente è indicata lo stralcio della “*Carta del Rischio Idraulico per fenomeni di Esondazione*” C.T.R. n.593090, tavola n.08.

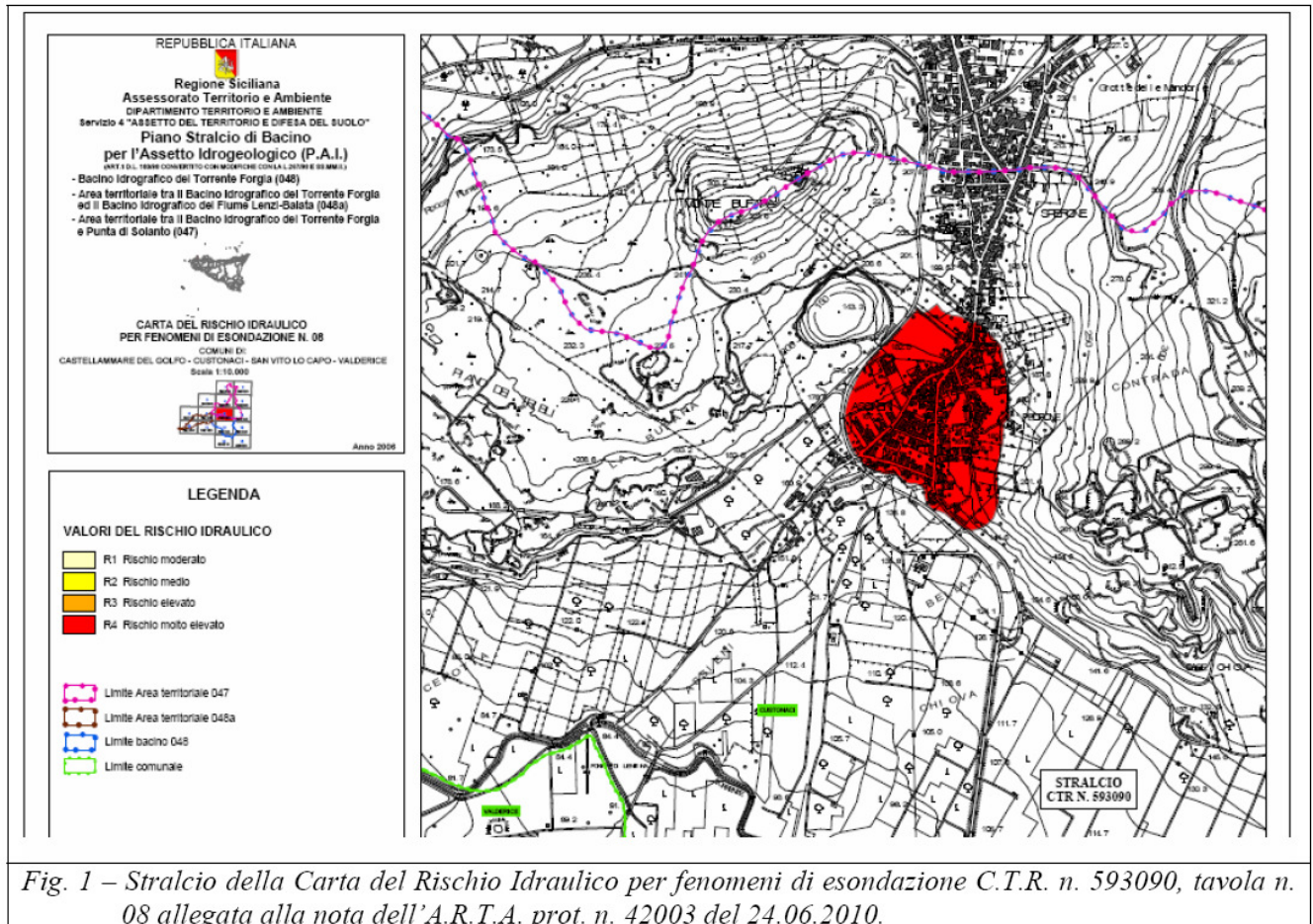


Fig. 1 – Stralcio della Carta del Rischio Idraulico per fenomeni di esondazione C.T.R. n. 593090, tavola n. 08 allegata alla nota dell’A.R.T.A. prot. n. 42003 del 24.06.2010.

In seguito allo studio idraulico specialistico eseguito dallo scrivente, che si riporta in allegato alla presente relazione, la realizzazione di un canale di gronda ha consentito il drenaggio delle acque meteoriche e di ruscellamento provenienti dal versante soprastante l’abitato che, in assenza dell’opera, determinerebbero, come in passato rischi di alluvionamento del nucleo abitato in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi.

L'intervento di mitigazione del rischio di esondazione è idraulicamente corretto nella esecuzione delle opere, certificata dal collaudo approvato con Determina del Responsabile del Settore Tecnico n.963 del 01.10.2007 e successiva Determina di G.M. di presa d'atto n.137 del 03.10.2007.

Tale intervento ha consentito l'eliminazione del vincolo idrogeologico imposto con D.P.R. n.229 del 04.6.2007.

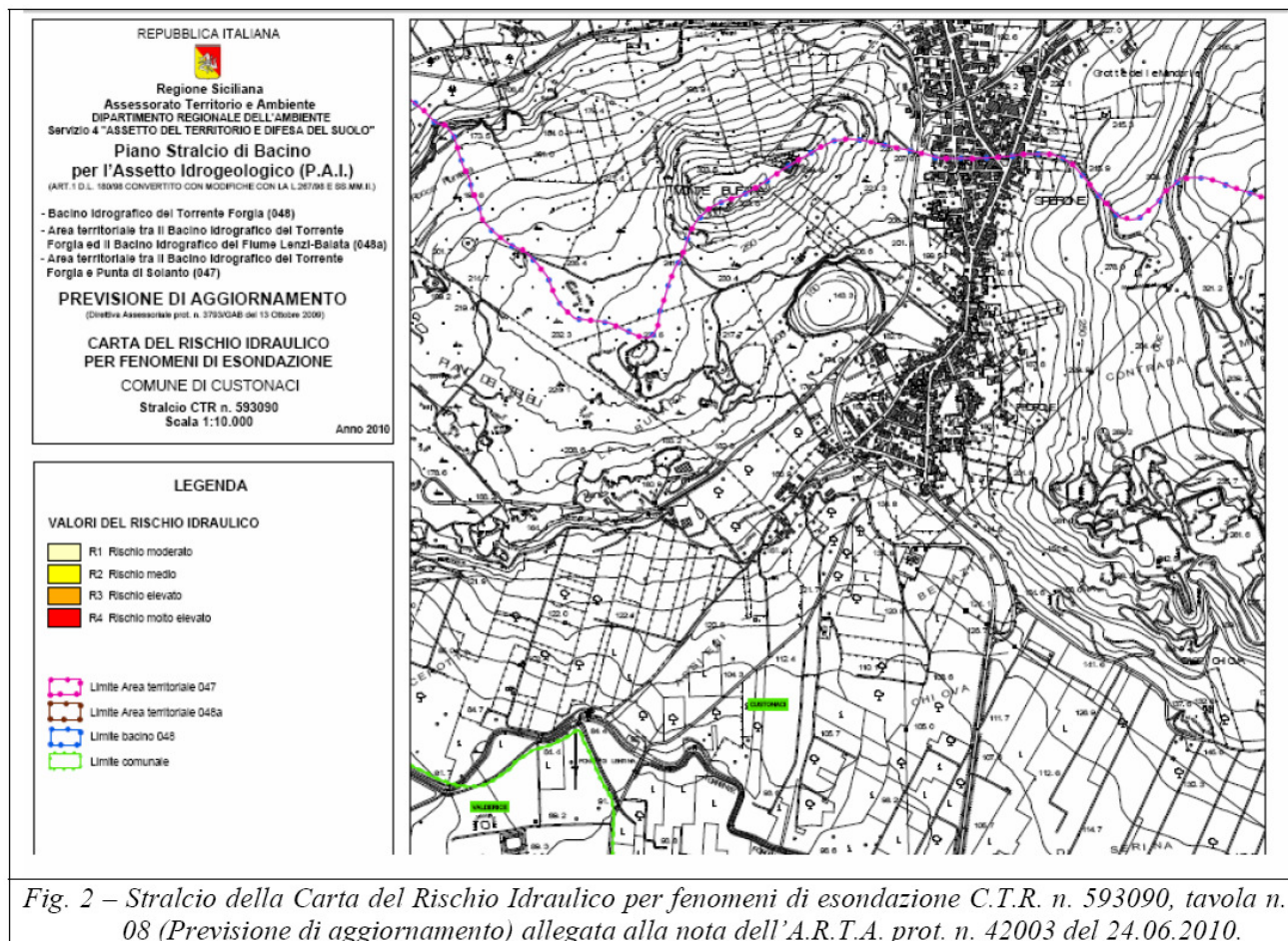


Fig. 2 – Stralcio della Carta del Rischio Idraulico per fenomeni di esondazione C.T.R. n. 593090, tavola n. 08 (Previsione di aggiornamento) allegata alla nota dell'A.R.T.A. prot. n. 42003 del 24.06.2010.

9.2.2 - “Canale Biro”

Il canale Biro, nel suo tratto più lungo, nasce a quota 530 m in prossimità del suo spartiacque in località Piano dell'Arena.

Prosegue il suo corso incassato nella valle incisa su terreni di natura calcarea, che costituiscono tra l'altro l'ossatura del massiccio carbonatico di Monte Speciale sulla destra orografica e di Monte Sparagio e, più a valle, Monte S. Giovanni sulla sinistra orografica.

In località Timpi Bianchi, dopo un breve tratto a meandri incassati, il torrente raggiunge la piana di Castelluzzo attraversando l'abitato omonimo.

Lungo la piana, gli argini naturali del torrente presentano altezze variabili tra 1 e 3 m e il letto del canale è frequentemente interrotto da attraversamenti carrabili.

Il canale, con larghezza variabile ma di solito superiore ai tre metri, è frequentemente invaso da vegetazione spontanea anche di tipo arbustivo che ne riduce la sezione utile e può diventare causa di impedimento del deflusso.

La stima della portata al colmo di piena del corso d'acqua è stata effettuata attraverso l'analisi probabilistica dei dati pluviometrici relativi ad un bacino di alimentazione ed alle caratteristiche idrologiche di quest'ultimo.

I primi, in termini di piogge intense (*valori massimi di precipitazione verificatisi in 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive non necessariamente nello stesso giorno*) estratti dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico Italiano relativamente alla stazione pluviometrica che presenta la maggiore influenza sul bacino in esame, servono a determinare le **curve di possibilità pluviometrica** ovvero funzioni che legano i valori delle altezze di pioggia a quelli temporali; queste risultano fondamentali per la determinazione delle portate di piena per fissato tempo di ritorno.

Tali relazioni sono generalmente del tipo:

$$h = at^n$$

in cui h è l'altezza di precipitazione in mm, t è la sua durata ed a ed n sono due parametri caratteristici della stazione in esame, il cui valore è determinabile, caso per caso, con il metodo dei minimi quadrati per ogni valore del tempo di ritorno T .

In particolare, le elaborazioni statistiche, attraverso le quali vengono ottenuti i valori relativi alle altezze massime di assegnata durata t (1, 3, 6, 12 e 24 h) e tempi di ritorno T (20, 50, 100, 200, 300 e 500 anni), vengono effettuate adottando la legge di Gumbel, secondo la quale la funzione di tipo doppio esponenziale risponde alla seguente formula:

$$H_{\max}(t, T) = u_t - \frac{\left\{ \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}}{\alpha} \quad (1)$$

(altezza massima di pioggia con tempi di ritorno)

nella quale α e U_t sono due parametri della legge suddetta legati alla media M e allo scarto quadratico medio, secondo le seguenti formule:

$$\alpha = \frac{1}{0,78 \cdot \sigma}$$

$$u_t = M - \frac{0,577}{\alpha}$$

N (numero d'anni di osservazione)

$$M = \frac{\sum h_i}{N}$$

(media aritmetica semplice delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore negli anni di osservazione)

$$\sum_{i=1}^n (h_i - M)^2 \quad (\text{devianza})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - M)^2}{n-1}} \quad (\text{scarto quadratico medio})$$

Mediante la relazione (1) per ciascun valore di T , si ottengono, pertanto, cinque valori di h_{\max} , corrispondenti alle cinque durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore. I valori così ottenuti individuano delle curve, a parametro T , denominate **curve di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno T** .

L'andamento di tali curve è del tutto analogo a quelle identificate dalla relazione $h=at^n$.

I metodi per la previsione delle piene sono numerosissimi.

Tra quelli definiti analitici, il metodo razionale, utilizzato nel caso in esame, è quello che tiene conto, oltre che di alcuni parametri morfometrici del bacino imbrifero anche della precipitazione cui la piena è dovuta.

Per questo motivo è stato calcolato, per ogni bacino in studio, il tempo di corrivazione t_c , ossia il tempo necessario affinché una particella d'acqua possa giungere dai punti più lontani del bacino fino ad una determinata sezione di un corso d'acqua, secondo la formula proposta dal Giandotti (2):

$$T_c(ore) = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot l}{0,80 \cdot \sqrt{H_m - H_s}} \quad (2)$$

in cui:

A è la superficie del bacino in Km²;

L è la lunghezza dell'asta principale del torrente in Km;

H_m è l'altezza media del bacino in metri secondo la seguente formula:

$$H_m = \frac{\sum h_i \cdot A_i}{A}$$

in cui

A_i area compresa tra due curve di livello;

H_i è l'altezza media tra due curve di livello;

H_s è la quota della sezione di chiusura in metri.

Risolvendo la seguente relazione

$$H_{\text{crit}}(t, T) = a \cdot t_c^n \quad (3)$$

(altezza critica di pioggia per tempi di ritorno T e tempo di corrivazione t_c)

utilizzando i valori di α ed n ottenuti dalle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica per vari tempi di ritorno, in funzione del tempo di corrivazione del bacino in studio, vengono ottenuti valori di altezze critiche di pioggia per ogni valore di T , relativamente al bacino considerato.

Supponendo che la precipitazione sia uniforme su tutto il bacino e che la durata dell'evento critico sia pari al tempo di corrivazione, la portata di massima piena è stata calcolata secondo la seguente formula:

$$Q_{\max} = 0,278 \cdot \frac{A \cdot H_{\text{crit}} \cdot C}{T_c} \quad (4)$$

in cui:

Q è la portata al colmo, espressa in m³/s;

A è la superficie del bacino espressa in Km²;

H_{crit} è l'altezza critica corrispondente al tempo di ritorno voluto e di durata pari al tempo di corrivazione, espressa in mm;

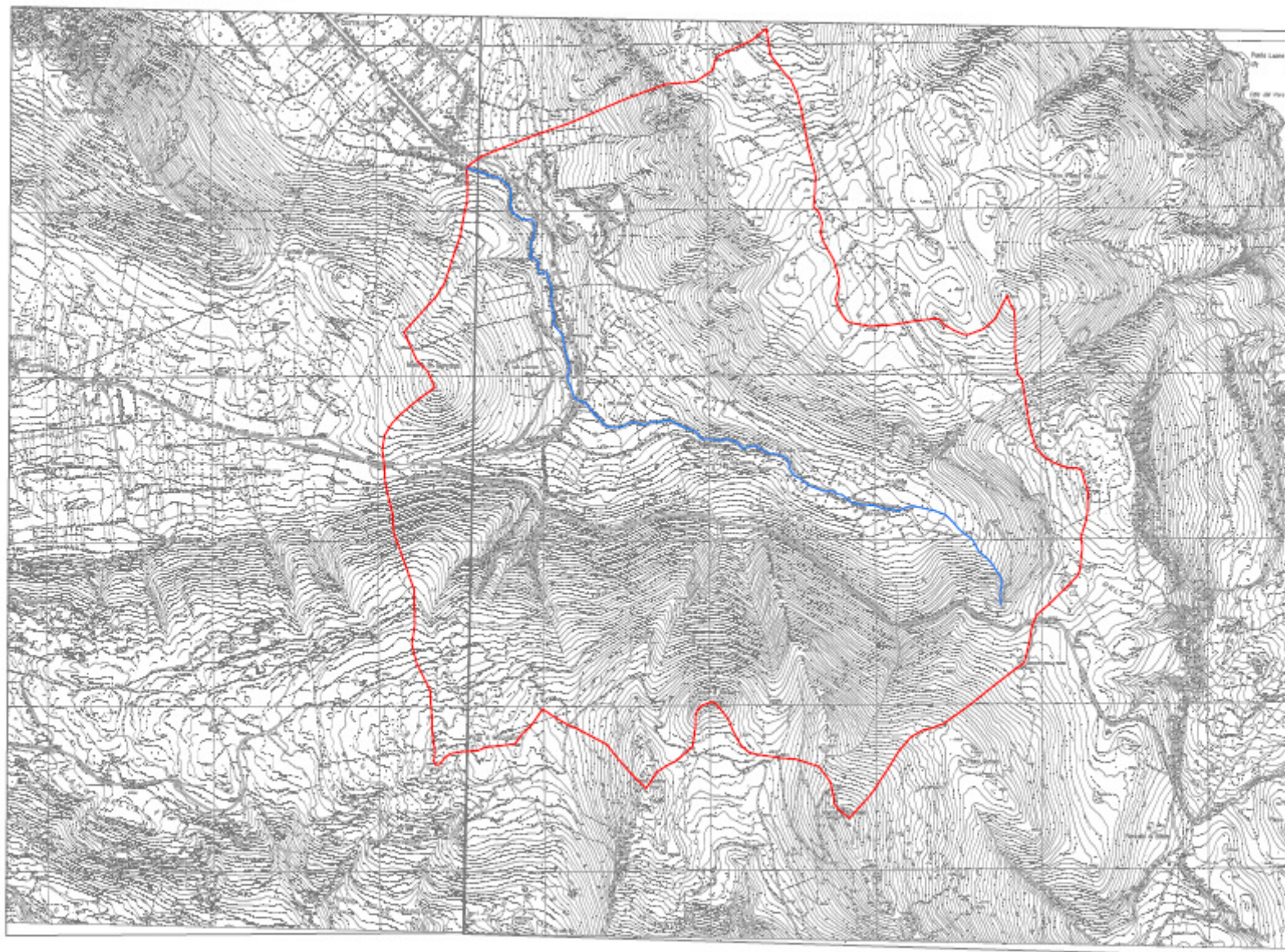
C è il coefficiente di deflusso medio del bacino, legato sia alla permeabilità del terreno ed al tipo di copertura vegetale;

t_c è il tempo di corrivazione espresso in ore.

Per determinare la portata di massima piena di tale corso d'acqua e per effettuare le verifiche idrauliche al fine di perimetrare le aree a rischio di esondazione limitrofe ad esso, il bacino considerato è quello sotteso alla sezione critica ubicata subito a monte dell'abitato di Castelluzzo in corrispondenza di un ponticello che collega due parti del paese, a quota 120 m s.l.m. con un'estensione complessiva di 13,06 Km² (*Allegato B*).

Tenuto conto delle stazioni pluviometriche più vicine alla zona e della loro posizione geografica rispetto al bacino esaminato, è stato possibile stabilire che tra queste la stazione di Capo S. Vito è risultata l'unica influente sul bacino medesimo.

Pertanto i dati pluviometrici relativi alla suddetta stazione, riportati in *tab. 1*, utilizzati nei calcoli che seguono, riguardano 25 anni di osservazione.



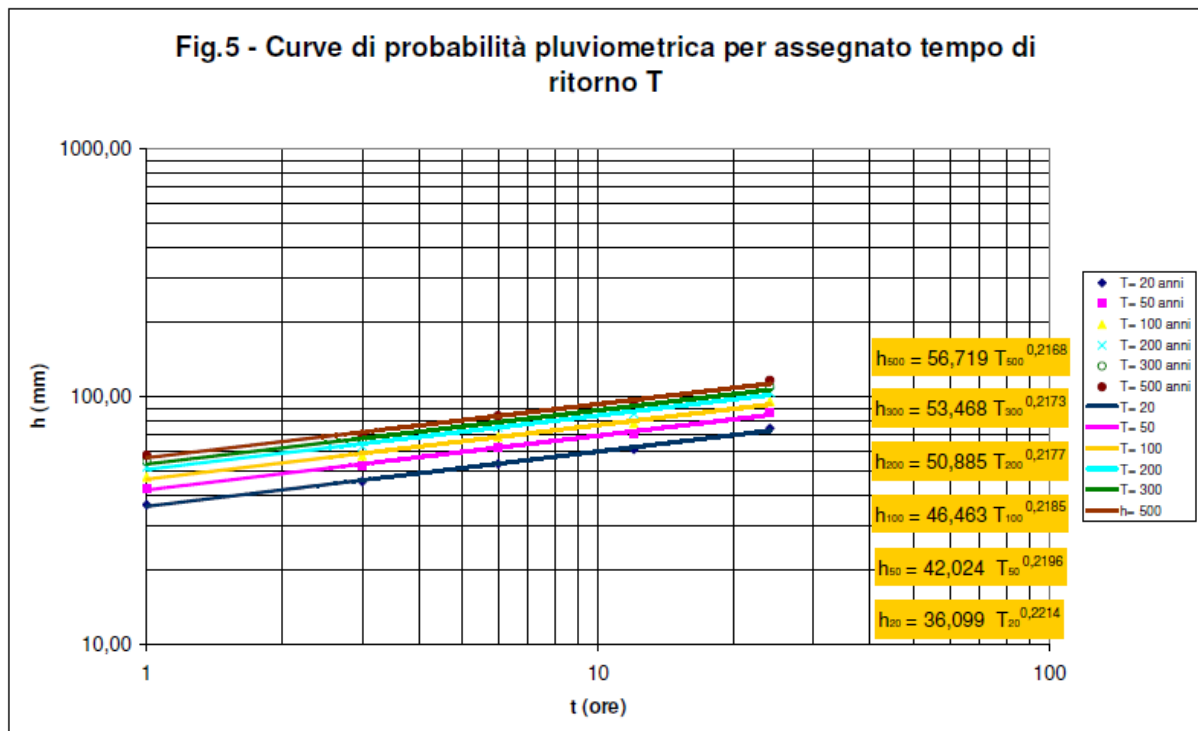
ALLEGATO B - Bacino Idrografico del Torrente Bloro

scala 1:25.000

Nella figura n°5 sono riportate invece le elaborazioni statistiche, attraverso le quali vengono ottenuti i valori relativi alle altezze massime di durata t (1, 3, 6, 12 e 24 h) e tempi di ritorno T (20, 50, 100, 200, 300 e 500 anni), che sono state effettuate con il metodo di Gumbell.

Stazione pluviometrica di Capo S.Vito										
Bacino Bacini Minori tra S. Bartolomeo e Birgi										
Quota m.s.m. 6										
Anni di osservazione 25										
anno	INTERVALLO ORE									
	1		3		6		12		24	
	h (mm)	$X^2=(h_i-M)^2$	h (mm)	$X^2=(h_i-M)^2$	h (mm)	$X^2=(h_i-M)^2$	h (mm)	$X^2=(h_i-M)^2$	h (mm)	$X^2=(h_i-M)^2$
1998	31,00	104,69	45,60	334,45	67,00	1270,78	71,20	1194,39	71,40	766,18
1997	26,00	27,37	31,20	15,12	31,40	0,00	34,00	6,97	36,20	56,55
1995	8,00	163,02	21,00	39,84	24,00	54,05	32,80	14,75	37,20	42,51
1994	20,00	0,59	23,60	13,78	30,00	1,83	34,00	6,97	43,60	0,01
1993	18,60	4,70	25,60	2,93	30,60	0,57	36,60	0,00	37,00	45,16
1992	30,40	92,78	42,00	215,74	52,60	451,48	56,80	406,43	67,40	560,74
1991	43,00	494,26	50,00	514,75	50,40	362,83	55,00	337,09	55,40	136,42
1990	29,60	78,00	29,80	6,19	29,80	2,41	33,40	10,50	33,60	102,41
1989	13,00	60,34	17,80	90,48	20,60	115,61	20,60	257,28	21,40	498,18
1988	12,00	76,88	21,40	34,95	25,40	35,43	40,80	17,31	40,80	8,53
1987	30,20	88,96	38,60	127,42	38,60	52,53	41,80	26,63	42,40	1,74
1986	29,20	71,10	30,00	7,23	40,20	78,29	48,20	133,63	55,60	141,13
1985	17,00	14,20	17,20	102,25	20,00	128,87	23,00	186,05	34,80	79,57
1984	19,60	1,36	21,60	32,63	21,60	95,10	21,60	226,20	29,00	216,68
1983	13,20	57,27	22,20	26,13	24,40	48,33	33,40	10,50	37,20	42,51
1981	13,40	54,29	24,40	8,48	25,80	30,82	29,40	52,42	37,60	37,45
1980	24,80	16,26	27,60	0,08	27,60	14,08	28,00	74,65	29,60	199,37
1978	16,00	22,73	23,60	13,78	33,40	4,19	57,40	430,98	88,40	1996,30
1977	7,60	173,40	18,00	86,71	18,20	172,98	18,20	340,03	23,40	412,90
1976	17,40	11,34	20,40	47,78	24,20	51,15	31,80	23,43	40,80	8,53
1975	17,20	12,73	17,20	102,25	28,00	11,24	33,00	13,25	42,40	1,74
1974	14,40	40,55	17,80	90,48	19,20	147,67	19,40	297,22	27,20	272,91
1973	19,20	2,46	21,20	37,36	22,60	76,60	35,00	2,69	67,60	570,25
1972	28,60	61,34	44,60	298,87	45,80	208,74	47,20	111,51	59,60	252,17
1970	19,80	0,94	30,40	9,54	32,40	1,10	33,40	10,50	33,40	106,50
totali	519,2	1731,57	682,8	2259,21	783,8	3416,66	916	4191,36	1093	6556,48
medie	20,768		27,312		31,352		36,64		43,72	

TABELLA 1: Altezze massime di pioggia di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore per la stazione pluviometrica di Capo S. Vito



In *tab. 2* sono riportati i valori di h_{max} ottenuti per ciascun valore di T , corrispondenti alle cinque durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore. I valori così ottenuti individuano una curva , a parametro T , denominata “Curve di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno T ”.

Durata pioggia	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
N	25	25	25	25	25
$M = \frac{\sum h_i}{N}$	20,768	27,312	31,352	36,64	43,72
$\sum X^2$	1731,5744	2259,2064	3416,6624	4191,36	6556,48
$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X^2}{N-1}}$	8,494052821	9,702247162	11,9315101	13,21514283	16,52835947
$\alpha = \frac{1,283}{\sigma}$	0,151046859	0,132237406	0,107530395	0,097085595	0,077624159
$u_i = M - \frac{0,577}{\alpha}$	16,9466693	22,9471231	25,98421541	30,69473076	36,28417063

TABELLA 2: Elaborazioni statistiche - Metodo di Gumbell

In *tab. 3* sono riportati i valori di h_{max} ottenuti per ciascun valore di T , corrispondenti alle cinque durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore. I valori così ottenuti individuano una curva , a parametro T , denominata “Curve di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno T ” riportate nella *figura 5*.

Tempi di ritorno (anni)		durata di pioggia t (ore)				
		1	3	6	12	24
20	hmax (mm)	36,61	45,41	53,61	61,29	74,55
50	hmax (mm)	42,78	52,45	62,27	70,89	86,55
100	hmax (mm)	47,40	57,73	68,76	78,08	95,55
200	hmax (mm)	52,01	62,99	75,23	85,24	104,51
300	hmax (mm)	54,70	66,07	79,01	89,43	109,74
500	hmax (mm)	58,08	69,94	83,77	94,70	116,33

TABELLA 3: Altezze massime di pioggia di durata t e tempo di ritorno T

In base ai parametri morfometrici di tale bacino, riuniti nelle *tab. 4 e 5*, applicando la formula (2) è stato ottenuto per quest'ultimo un valore del tempo di corrivazione pari a h 1,41.

Intervallo isoipse	A _i (Kmq)	H _i media delle quote tra due isoipse (m)	H massima
1108-800	0,475546	954,00	1108
800-600	4,400724	700,00	800
600-400	3,708374	500,00	600
400-200	3,272494	300,00	400
200-120	1,199409	160,00	200
Area complessiva		13,056547	

TAB 4: Informazioni altimetriche relative al bacino del Canale Biro.

Superficie scolante	A	13,06 Km ²
Lunghezza percorso idraulico più lungo	L	5,085 Km
Quota massima dell'asta fluviale	H	530 m
Quota della sezione di chiusura	H_s	120 m
Quota massima del bacino	H_{max}	1108 m
Altitudine media	H_m	502,58 m
Dislivello rispetto alla sezione di chiusura	D	988 m
Pendenza media dell'asta	P	19,4 %

TAB. 5: caratteristiche morfometriche del bacino del Canale Biro.

I valori relativi alle altezze critiche per vari tempi di ritorno assieme a quelli di massima piena ottenuti applicando la formula (3) e delle portate di massima piena ottenuti dalla formula (4), sono elencati nella *tab. 6*.

Si precisa che il valore di C, Coefficiente di deflusso, utilizzato nel calcolo del valore di massima piena, per la sezione in esame, considerato pari a 0,50, è stato scelto tenendo conto sia della superficie coperta da colture agrarie, che improduttiva o rimboschita oltre che della natura litologica e caratteristiche fisiche dei terreni affioranti. Inoltre non bisogna sottovalutare l'influenza della presenza di alcune briglie costruite nel tratto incassato meandriforme a monte della sezione e della vegetazione presente lungo l'alveo del torrente che ne altera la capacità di deflusso.

deflusso C= 0,5					
Tr (anni)	a	n	T_c (ore)	h_{crit} (mm)	Q (mc/sec)
20	36,099	0,2214	1,41	38,95	50,15
50	42,024	0,2196	1,41	45,32	58,35
100	46,463	0,2185	1,41	50,09	64,48
200	50,885	0,2177	1,41	54,84	70,60
300	53,468	0,2173	1,41	57,61	74,18
500	56,719	0,2168	1,41	61,11	78,67

TAB. 6: Altezze critiche **h_{crit}** di pioggia per vari tempi di ritorno per una durata dell'evento critico pari al tempo di corrivazione **T_c** e valori di portata di massima piena **Q**.

9.3 - Calcolo di verifica del Canale Biro

Il Canale Biro scorre per intero su corso naturale ad eccezione di alcuni tratti nella zona a monte dove sono state realizzate delle briglie in c.a.

La sezione critica esaminata è posta in coincidenza con il ponticello posto subito a monte dell'abitato di Castelluzzo.

Essa corrisponde col passaggio tra una zona a monte in cui il Canale Biro scorre incassato all'interno di una valle con argini medio alti e andamento meandriforme, e la zona a valle ad andamento rettilineo, con scarse pendenze e argini bassi o inesistenti.

Quindi solo a valle della sezione critica esaminata vi sarà la possibilità che si verifichino fenomeni di esondazione.

Al fine di verificare il funzionamento idraulico del Canale Biro, in corrispondenza della sezione critica esaminata, il valore della portata liquida per quest'ultima è stato ottenuto ponendo in relazione il valore della portata medesima con le caratteristiche geometriche della sezione considerata e con la pendenza e scabrezza del corso naturale nel tratto considerato.

Dunque per risolvere la seguente formula:

$$Q = V \cdot A$$

in cui

Q è la portata in m³/s;

V è la velocità media della corrente;

A è l'area della sezione liquida;

è stata adottata la formula di Chézy

$$V = \chi \sqrt{r \cdot i} \quad (5)$$

nella quale:

V è la velocità media dell'acqua in condizioni di moto uniforme (m/s);

χ è il coefficiente di Chézy (m^{1/2}/s) che dipende dalla scabrezza del perimetro della sezione fluviale di interesse;

r è il raggio idraulico (m) definito dal rapporto tra A (m^2) area della sezione idrica ed il suo contorno bagnato C (m);

i è il gradiente idraulico ovvero la pendenza del pelo libero dell'acqua che nel caso del moto uniforme coincide con la pendenza del fondo dell'alveo.

Per la determinazione di χ è stata utilizzata la formula di Strickler

$$\chi = K r^{1/6}$$

in cui K dipende dalla scabrezza delle pareti e del fondo. Sostituendo questa formula alla (5) l'espressione di Chézy appare semplificata secondo la seguente

$$V = K r^{0,66} i^{0,5}$$

La sezione critica scelta in corrispondenza del ponte per il calcolo di verifica idraulica della portata, ubicata a quota 120 s.l.m., ha sezione trapezoidale capovolta con una larghezza alla base di 7 m, un'altezza utile di 2,0 m ed una larghezza massima utile di 11 metri.

Il letto del torrente anche se abbastanza regolare risulta riempito di vegetazione arbustiva spontanea. Per tale ragione il coefficiente di scabrezza utilizzato ai fini del calcolo è stato scelto pari a 50.

Pertanto applicando le formule sopradescritte si ottengono i valori di seguito elencati:

$K = 50$	coefficiente di scabrezza dell'alveo
$i = 0,03$	pendenza dell'alveo
$L = 10,5$ m	Larghezza media dell'alveo
$H = 2,50$ m	tirante idraulico
Area della sezione liquida	$A = L \cdot h = 18$ m^2
Perimetro bagnato	$C = 12,6$ m
Raggio idraulico	$r = A/C$ 1,43 m
Velocità della corrente	$V = K r^{0,66} i^{0,5} = 10,9$ m/s

Portata liquida del canale $Q = V \times A = 196,2$ m^3/s
--

Affinché sia verificato l'efficace funzionamento idraulico del canale in esame è necessario che venga soddisfatta la seguente relazione

$$Q_{liq} \geq Q_{max}$$

Dalla *tab. 7* che segue è possibile osservare che ***la relazione suddetta appare verificata per i valori di portata di massima piena relativi a tutti i tempi di ritorno ipotizzati.***

Tr (anni)	Q _{max} (mc/sec)	Q _{liq} (mc/sec)	h _u (m)	differenza tra Q _{max} (mc/sec)
20	50,15	196,2	2,00	146,05
50	58,35	196,2	2,00	137,85
100	64,48	196,2	2,00	131,72
200	70,60	196,2	2,00	125,60
300	74,18	196,2	2,00	122,02
500	78,67	196,2	2,00	117,53

TAB 7: Confronto tra i valori di portata di massima piena relativa a vari tempi di ritorno ed il valore della portata liquida del canale Biro insieme ai valori del tirante idrico di moto uniforme h_u.

10- PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Al fine di rappresentare eventuali situazioni di pericolosità sismica locale è stata eseguita la procedura di Microzonazione sismica di Livello 1, propedeutico ai veri e propri studi di MS in quanto consiste nella raccolta di dati disponibili, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee.

La MS individua e caratterizza le zone a minore pericolosità sismica locale: le zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

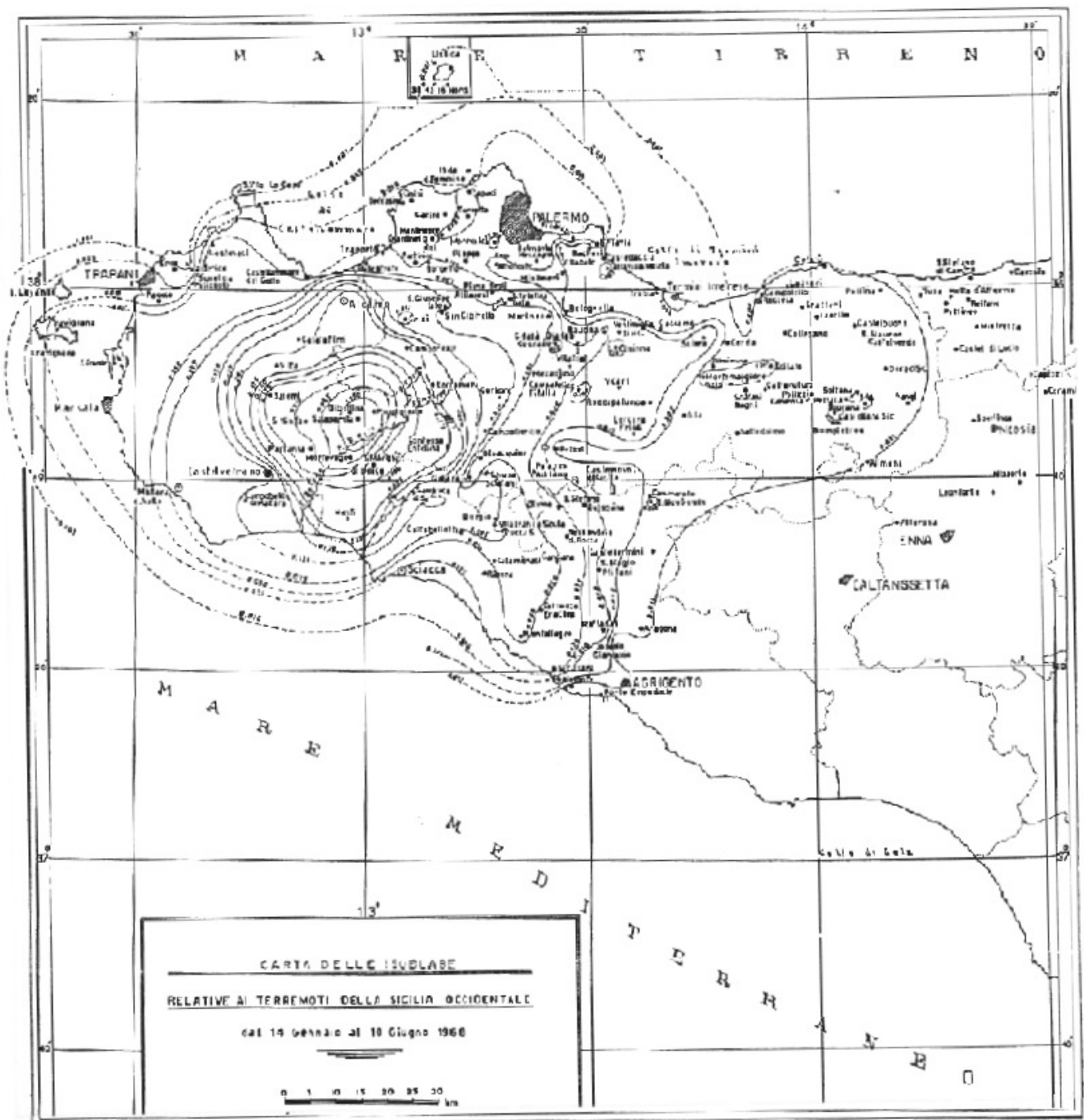
Prevede un approccio esclusivamente di tipo qualitativo e costituisce la base propedeutica per gli eventuali successivi livelli di approfondimento.

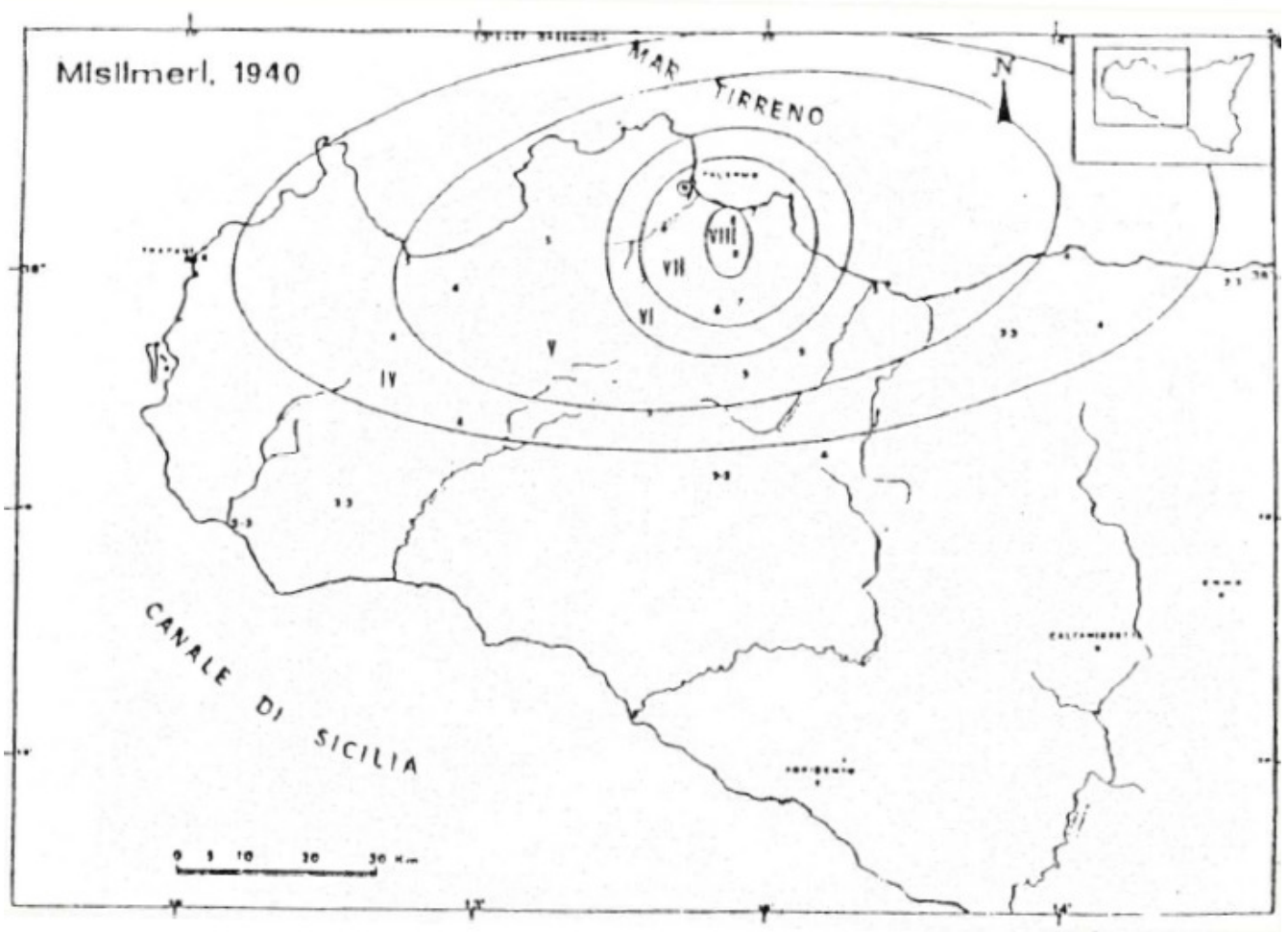
Nella fase di redazione dei nuovi strumenti urbanistici lo studio di primo livello permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con una buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili.

Tale studio si applica all'intero territorio comunale od all'ambito di applicazione dello specifico strumento urbanistico. Nell'ambito degli studi di primo livello non sono necessarie nuove indagini geognostiche. Lo studio consiste nella raccolta dei dati esistenti e nella redazione di un'apposita cartografia in scala 1:10.000 .

La sismicità storica del territorio custonacese è stata ricavata dal "*Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 A.C. al 1980 e dal Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 A.C. al 1990*" editi dall'Istituto Nazionale di Geofisica - SGA Storia Geofisica Ambiente, Bologna.

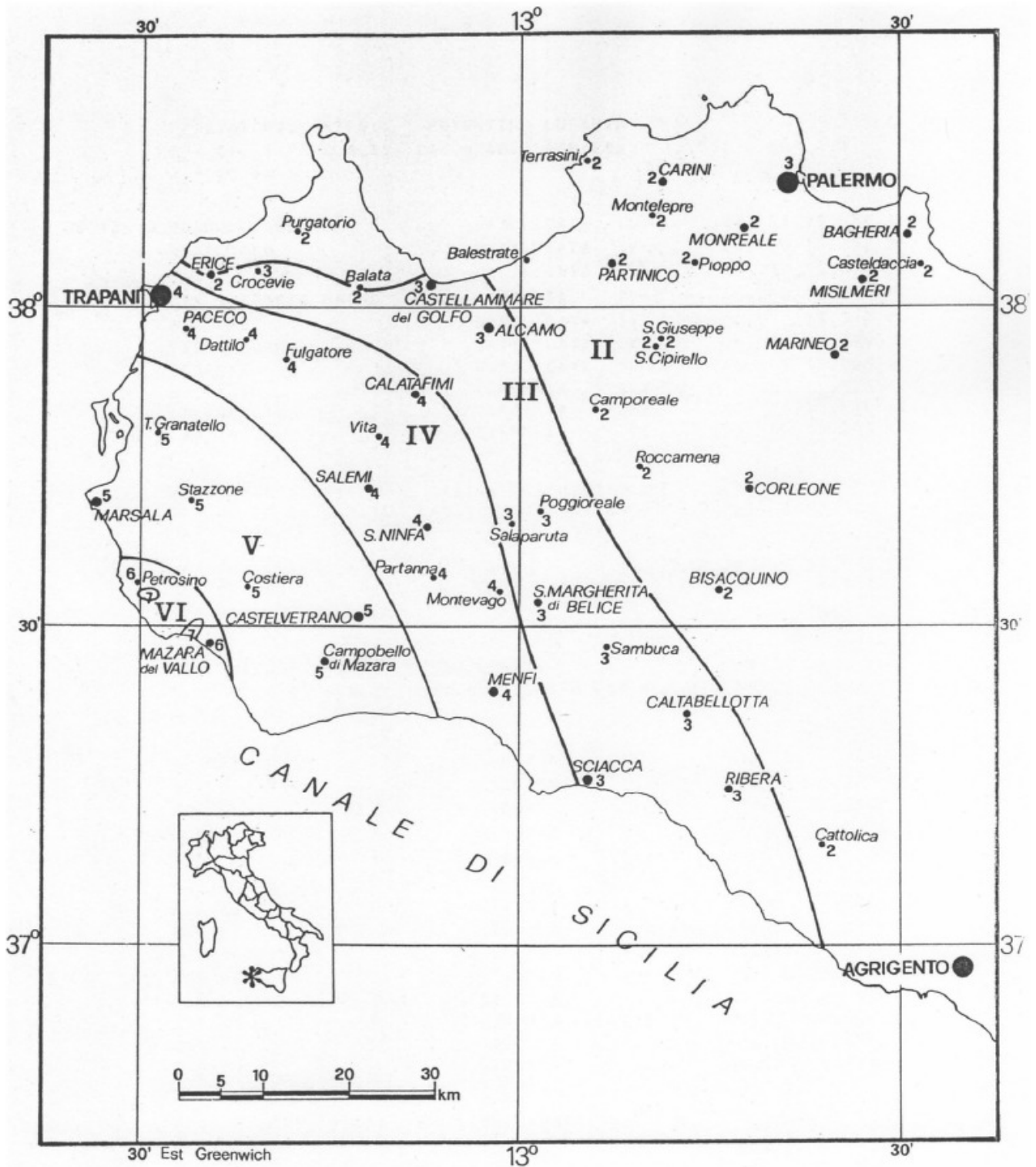
L'evento più significativo è stato "Il terremoto della Valle del Belice del 1968"; tra gli altri eventi sono da menzionare: il terremoto di Misilmeri del 1940, di Mazara del Vallo del 1981 ed il terremoto delle Isole Egadi del 1995.





Isosiste generalizzate relative al Terremoto di Misilmeri del 1940

Estratto da "Attenuazione Macrosismica in Sicilia occidentale: primi Risultati"
P. Cosentino et alii, 1984



Campo Macrosismico relativo al Terremoto di Mazara del Vallo, 1981

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 la classificazione sismica del territorio non è più indicativa per l'azione sismica di progetto, tuttavia rimane un punto di riferimento per la definizione della pericolosità sismica. Fino al 2003 il territorio di Custonaci è stato incluso fra le zone sismiche di // categoria, con grado di sismicità $S = 9$.

L'Ordinanza n.3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003, ha proposto nuove disposizioni in materia di classificazione sismica e di normative tecniche, secondo le quali il territorio italiano è stato suddiviso in quattro zone sismiche, ciascuna delle quali caratterizzata da un valore di accelerazione orizzontale (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.

Il territorio comunale di Custonaci secondo tale zonazione ricade nella *zona sismica 2* cui corrisponde un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a $0,25^* g$.

Il valore di a_g rappresenta il valore di picco dell'accelerazione di un terremoto di riferimento in un suolo stabile e roccioso, con periodo di ritorno di 475 anni, adottato per la classificazione sismica da diverse normative internazionali (fra cui l'Eurocodice 8).

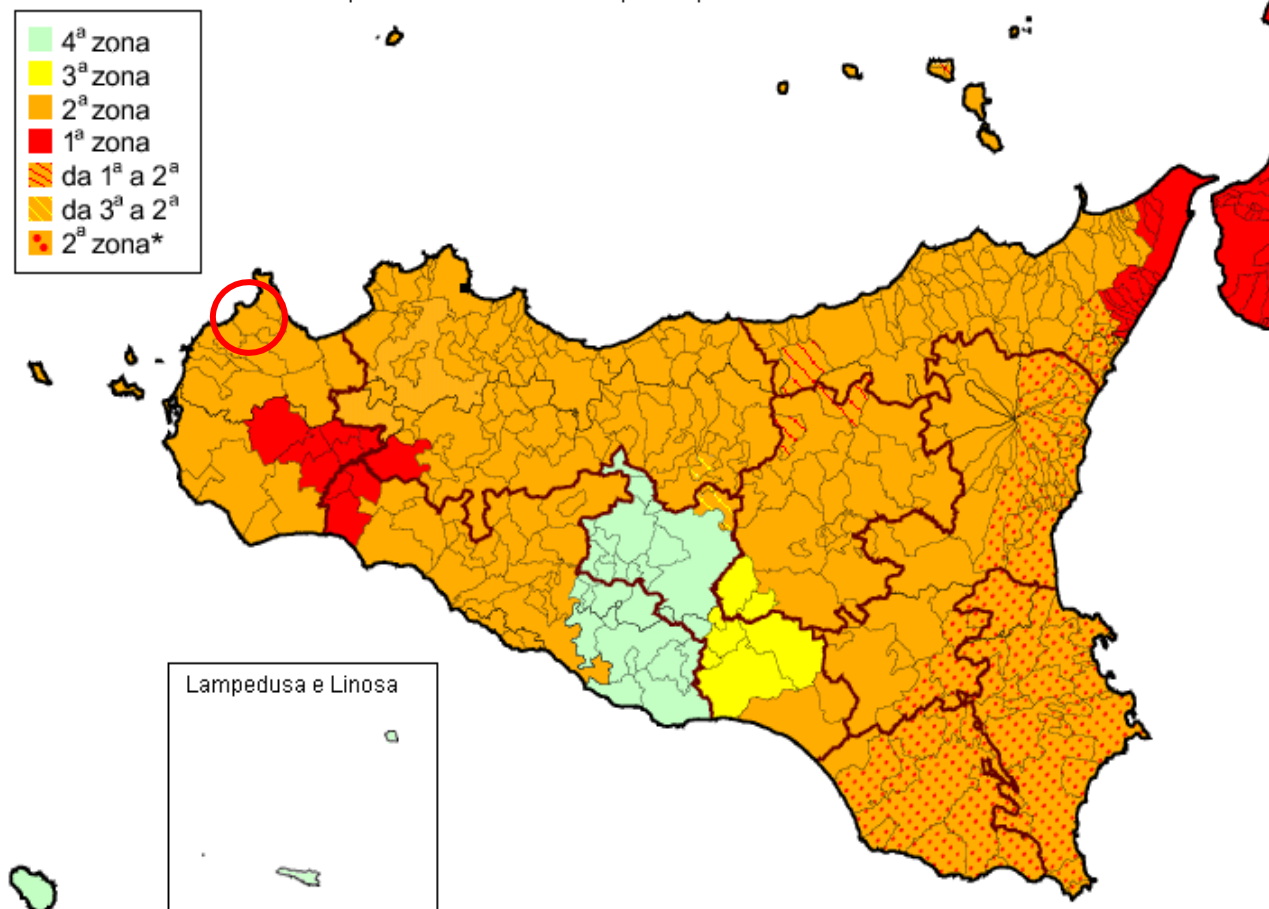
Tale classificazione è stata recepita dalla Regione Sicilia con la Deliberazione n.408 del 19.12.2003. Nell'Aprile 2004 l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha presentato una nuova mappa di pericolosità sismica (MPS04) elaborata secondo i criteri proposti dall'Ordinanza PCM 3274.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 Aprile 2006 ha adottato la mappa di pericolosità MPS04 quale riferimento ufficiale, secondo la quale il territorio del Comune di Custonaci ricade nella fascia compresa nella **Zona 2**, dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti e con livello di pericolosità medio.

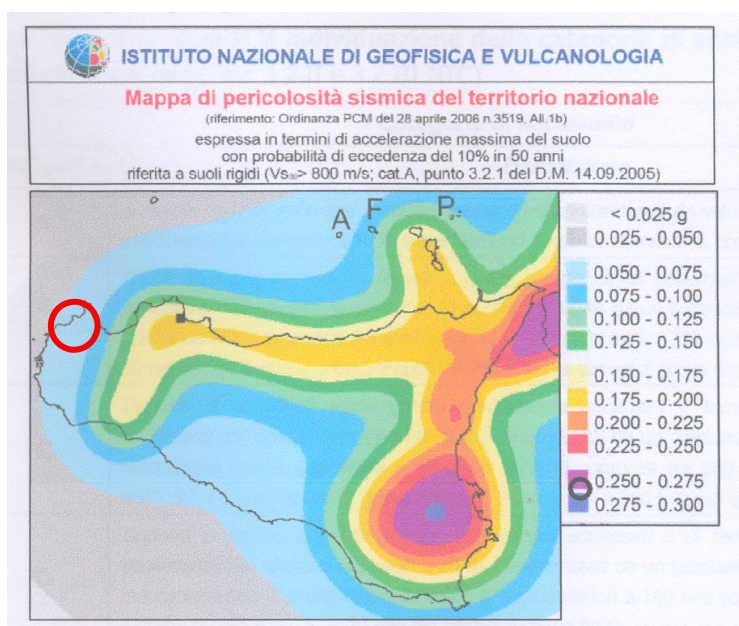
Per il territorio di Custonaci i parametri dello scuotimento tratti dalla pericolosità sismica nazionale riguardano l'accelerazione max attesa (\tilde{a}) al bedrock sismico, compresa tra 0,050 e 0,075 g e la probabilità di accadimento in 50 anni, pari al 10%.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	$0,25 < a_g \leq 0,35g$	0,35
2	$0,15 < a_g \leq 0,25g$	0,25
3	$0,05 < a_g \leq 0,15g$	0,15
4	$a_g \leq 0,05g$	0,05

* comuni classificati in zona 2 per i quali vengono previste, per le strutture strategiche e rilevanti di cui al comma 2 art.3 ord.3274/2003, verifiche e limitazioni tecniche previste per la zona 1



Mapa della classificazione sismica dei comuni ricadenti nel territorio siciliano, come indicato nell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274/03, Delibera della Giunta regionale n. 408 19/12/2003.
Il Comune di Custonaci è classificato come zona sismica 2, ovvero con una PGA compresa tra 0.15g e 0.25g.



10.1 - Pericolosità sismica di base

La pericolosità sismica di un areale è descritta dalla pericolosità che, in un fissato lasso di tempo, è riconducibile ad un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

Nel D.M. 14.1.2008 tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato “*periodo di riferimento*” (V_r) e la probabilità è denominata “*probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento*” (P_{vr}).

L’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche è la “*pericolosità sismica di base*” valutato per un areale di riferimento ideale, rigido e con superficie di riferimento topografica orizzontale.

La valutazione della pericolosità sismica deve essere effettuata attraverso studi a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie valide.

Lo studio di pericolosità sismica deve fornire i parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale. Tali parametri sono:

a_g = valore di accelerazione orizzontale massima del terreno;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;

T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

Gli spettri vengono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 Km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Ciascun nodo è identificato da un codice (ID). Attualmente la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell’intervallo di riferimento, si ricava dai dati forniti dall’Istituto di Geofisica e Vulcanologia.

Come indicato nell’Allegato A del D.M.14.1.2008, per ottenere il valore dei suddetti parametri spettrali (a_g , F_0 e T_c^*) propri del sito in esame, bisogna eseguire la media pesata dei valori corrispondenti, nei 4 nodi della griglia (Tabella 1 in allegato B) che comprendono l’area, mediante la seguente formula:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

p = valore del parametro di interesse nel punto in esame; p_i = valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;

d_i = distanza del punto in esame dell' i -esimo punto della maglia suddetta.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni delle costruzioni nel loro complesso, includendo gli elementi strutturali quelli non strutturali e gli impulsi (3.2.1 NTC).

Gli *stati limite di esercizio (SLE)* sono:

- *Stato Limite di Operatività (SLO)*. Il sisma non provoca danni ed interruzioni d'uso significativi nelle costruzioni nel loro complesso;
- *Stato Limite di Danno (SLD)*. Il sisma provoca danni nelle costruzioni tali da non mettere a rischio gli utenti. La capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali non è pregiudicata.

Gli *Stati Limite Ultimi (SLU)* sono:

- *Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)*. Il sisma provoca rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali. La costruzione conserva una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali ed un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- *Stato Limite di Prevenzione del Collasso (SLC)*. Il sisma provoca gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali. La costruzione conserva un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

La probabilità di superamento del periodo di riferimento (PVR), cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati è la seguente:

Stati limite di esercizio (SLE):

Stato Limite di Operatività (SLO) *PVR = 81%*

Stato Limite di Danno (SLD) *PVR = 63%*

Stati Limite Ultimi (SLU):

Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) $PVR = 10\%$

Stato Limite di Prevenzione del Collasso (SLC) $PVR = 5\%$

Il parametro che caratterizza la pericolosità sismica è il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento, i due parametri T_R e PVR sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

10.2 - Risposta sismica locale

Per valutare la risposta sismica locale bisogna valutare gli elementi che possono influenzare la pericolosità sismica di base. Gli effetti prodotti dal sisma sono dovuti all'amplificazione sismica locale (effetti di sito) ed all'eventuale presenza di instabilità.

Gli effetti di sito vengono generati dalle modifiche che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base, posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

Tali mutazioni sono dovute alle caratteristiche stratigrafiche e morfologiche locali.

Le principali instabilità prodotte dal sisma sono le fatturazioni superficiali, frane in pendii instabili e liquefazioni di terreni sabbiosi saturi.

10.2.1 - Caratteristiche Litostratigrafiche

Ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto, per definire le caratteristiche stratigrafiche di un sito, si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo indicate nella tabella 3.2.II, di cui al punto 3.2.2.

“*Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*”, capitolo 3 - *Azioni sulle costruzioni D.M.14.1.2008*.

Categoria	Descrizione stratigrafica	Vs ₃₀	N _{SPT}	C _u
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	> 800 m/s		
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	< 800 m/s > 360 m/s	> 50	> 250
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	< 360 m/s > 180 m/s	< 50 > 15	< 250 > 70
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	< 180 m/s	< 15	< 70
E	Terreni e sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento	> 800 m/s		

Tabella 3.2.II - Categoria di sottosuolo

Sono definite cinque classi di terreni (A, B, C, D, E) identificabili in base ai valori della velocità equivalente Vs₃₀ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità (se disponibile, altrimenti sul valore di N_{spt} o di C_u).

Categoria	Descrizione stratigrafica	Vs ₃₀	N _{SPT}	C _u
S1	Depositi che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	< 100 m/s		< 20 > 10
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti			

Tabella 3.2.III - Categorie aggiuntive di sottosuolo

10.2.2 - Condizioni topografiche

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, le condizioni topografiche in configurazione semplice sono riconducibili alla classificazione proposta nella tabella 3.2.IV di cui al punto 3.2.2. del D.M.14.1.2008.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche

11- INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le caratteristiche litostratigrafiche degli areali sono state acquisite oltre che con i rilievi eseguiti nell'ambito dello studio afferente al PRG dell'anno 2004, con le indagini geognostiche messe a disposizione dall'Ufficio Tecnico Comunale del Comune di Custonaci inerenti le seguenti opere pubbliche e varianti urbanistiche:

- 1) *Centro Diurno per Anziani* : n.2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- 2) *Completamento della Via Madonna e della Circonvallazione Nord, esterne all'abitato di Custonaci*:
n.6 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- 3) *Scuola Materna Ugo Foscolo*: n.4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- 4) *Scuola Elementare Lombardo Radice*: n.3 sondaggi geognostici;
- 5) *Completamento della rete fognante - III Lotto*: n.4 sondaggi geognostici;
- 6) *Depuratore C.da Forgia- Sanguigno*: n.2 sondaggi geognostici;
- 7) *Depuratore C.da Assieni*: n.3 sondaggi geognostici;
- 8) *Variante Località Baia Cornino - Via Libeccio*: n.2 prospezioni sismiche Masw;
- 9) *Centro di recupero C.da Cerriolo*: n.2 prospezioni sismiche Masw;
- 10) *Variante C.da Lentina - Capitanazzo*: n.1 prospezione sismica Masw;
- 11) *Variante C.da Purgatorio*: n.2 prospezioni sismiche Masw;
- 12) *Variante C.da Pacecoto*: n.2 prospezioni a rifrazione.

11.1 - Sondaggi geognostici

PROGETTO	LOCALITA'	SONDAGGIO	TERRENI
Lavori di completamento della rete fognante nel territorio comunale di Custonaci	C.da Cornino	S.1 S.2 S.3 S.4	Calcareniti
Realizzazione casa albergo per anziani per 60 posti letto in Custonaci	Periferia Sud-Ovest del Centro Urbano	S.5 S.6	Tufiti Calcari
Lavori di completamento della Via Madonna e della Circonvallazione Nord	Centro Urbano	S.7 S.8 S.9 S.10 S.11 S.12	Calcari Detrito di falda Tufiti
Demolizione e ricostruzione delle aule scolastiche della scuola materna di Via Ugo Foscolo	Centro Urbano	S.13 S.14 S.15 S.16	Tufiti Calcari
Ampliamento della scuola elementare "Lombardo Radice"	Centro Urbano	S.17 S.18 S.19	Tufiti Calcari
Accorpamento e potenziamento dei depuratori di C.da Forgia-Sanguigno e C.da Assieni finalizzato al riuso delle acque reflue all'interno del bacino marmifero e a salvaguardia ambientale della Costa di Cornino	C.da Forgia-Sanguigno	S.20 S.21	Calcareniti Argille
	C.da Assieni	S.22 S.23 S.24	Sedimento detritico-colluviale Argille

L'esatta ubicazione di ogni sondaggio geognostico di riferimento e le relative stratigrafie sono state allegate, per comodità di lettura, alla Carta della Suscettività all'edificazione (Tav. 6A - 6B).

Gli affioramenti che caratterizzano l'intorno del Centro urbano di Custonaci sono costituiti da calcari in grossi banchi, di colore bianco e grigio, compatti con Rudiste, Alghe, Briozoi del Cretaceo Sup. - Eocene Inf..

I calcari generalmente immergono verso Nord - Est, con una pendenza variabile da 13° a 16°.

Contrariamente a quanto è stato finora ritenuto, anche il Trapanese conserva vestigia, largamente estese, di un'antica attività vulcanica fra cui un posto di rilievo è senz'altro occupato dai dintorni di Custonaci.

Le rocce effusive riscontrate in queste zone affiorano lungo il Torrente Forgia ed in una fascia posta lungo la periferia Sud-Est di Custonaci, sotto forma di materiale tufitico alterato, ricoperto da uno strato di terreno agrario.

Mentre nei pressi di Custonaci i rapporti di giacitura della tufite rispetto ai calcari non sono facilmente definibili, lungo il T. Forgia sono molto evidenti e mostrano una diagenesi coeva con quella dei calcari (Giunta e Liguori - 1972).

I sondaggi S.17 e S.18 (*Scuola Radice*) sono stati spinti rispettivamente fino alla profondità di 18.30 m e di 11.40 m dal piano di campagna, al di sotto quindi del banco che potrebbe essere interessato dai bulbi di pressione dell'apparato di fondazione.

Il sondaggio S.19 fino a 13.40 m dal piano di campagna.

Lungo la verticale dei sondaggi è stata accertata la presenza di *terreno vegetale* di colore nerastro dello spessore compreso fra 2.60 m (S.17) e 2.10 m (S.18 - S.19).

Al disotto di tale strato è stato riscontrato, in accordo con le previsioni di ordine geologico, un banco costituito da *tufite* di colore variabile dal nocciola al giallastro.

L'esame diretto delle carote e la percentuale di carotaggio prossima al 95-100% conferma il buon grado di addensamento del materiale stesso.

Si è riscontrata l'alternanza di livelli particolarmente cementati, il cui spessore risulta estremamente variabile e non direttamente correlabile fra foro e foro e quindi interpretate come lenti.

Nei sondaggi S.17 ed S.19 alla quota rispettivamente di 16.50 m e di 12.90 m dal p.c. è stato rinvenuto il tetto della *formazione calcarea*.

Nei fori di sonda non è stata riscontrata la presenza di falda acquifera.

I sondaggi S.13 e S.14 (*Scuola Ugo Foscolo*) sono stati spinti rispettivamente fino alla profondità di 20.00 m. Lungo la verticale dei sondaggi è stata accertata la presenza di *terreno vegetale* di colore nerastro dello spessore compreso fra 2,00 m (S.13) e 2,50 m (S.14).

Al disotto di tale strato è stato individuato, in perfetta armonia con le previsioni di ordine geologico, un banco costituito da *tufite* di colore variabile dal nocciola al giallastro.

L'esame diretto delle carote e la percentuale di carotaggio prossima al 95-100% conferma il buon grado di addensamento del materiale stesso.

Si è riscontrata l'alternanza di livelli particolarmente cementati, di spessore variabile e non direttamente correlabili fra foro e foro, pertanto lentiformi.

Nei sondaggi S.13 e S.14 alla quota rispettivamente di 14.00 m e di 14.50 m dal p.c. è stato individuato il tetto della *formazione calcarea*.

11.2 - Prospezioni geofisiche Masw

Il profilo delle onde di taglio Vs nei primi 30 m di profondità risulta necessario per:

- valutare l'azione sismica di progetto al livello delle fondazioni di qualunque struttura;
- valutare il rischio di liquefazione del terreno in sito;
- valutare i rischi di instabilità dei pendii e/o delle opere di sostegno;
- valutare i cedimenti dei rilevati stradali, delle opere di sostegno, delle fondazioni degli edifici;
- valutare la trasmissione delle vibrazioni generate dai treni, dalle macchine vibranti, dalle esplosioni in superficie o in sotterraneo, dal traffico veicolare.

Il parametro V_{s30} è il parametro geofisico che rappresenta meglio la variabilità geotecnica dei terreni presenti nel sottosuolo: rappresenta la velocità media di propagazione delle onde Vs entro i primi 30 metri di profondità.

E' calcolato mediante la seguente espressione

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

V_i : velocità delle onde s dello strato i-esimo

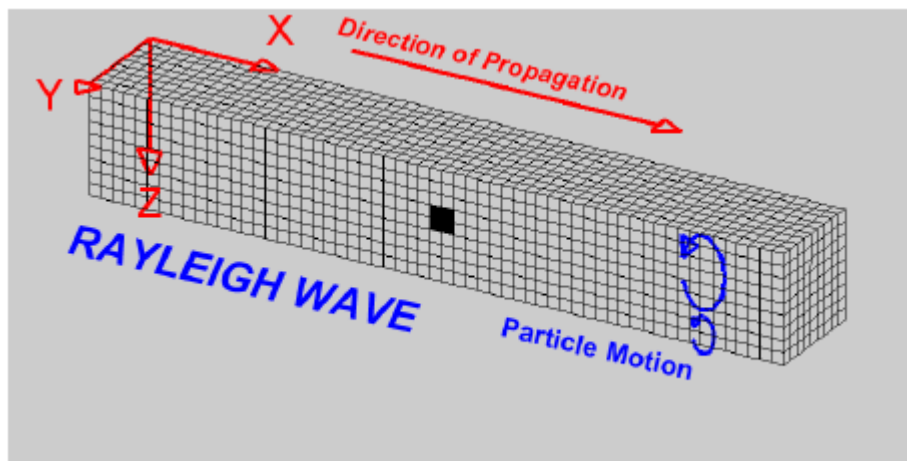
h_i : spessore in metri dello strato i-esimo

N : numero di strati presenti nei primi 30 metri

In base al valore della v_{s30} si identificano le seguenti 5 categorie del suolo di fondazione secondo la classificazione del NTC del 14 gennaio 2008.

La tecnica Masw consente una modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh generate dall'interazione tra onde di pressione (P) e le onde di taglio verticali (SV) ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo.

Alla superficie libera hanno moto ellittico retrogrado (moto antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$: possono esser viste come la sovrapposizione di due componenti separate, una longitudinale e l'altra trasversale, che si propagano lungo la superficie con la stessa velocità ma con differente attenuazione con la profondità.

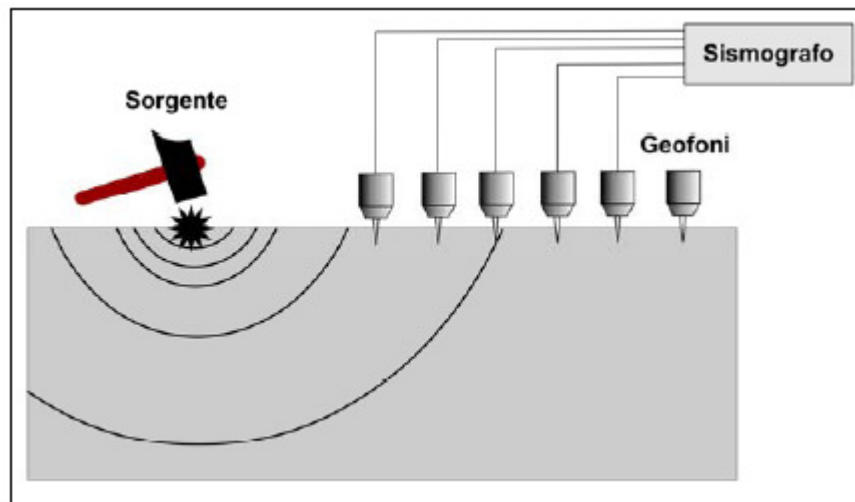


Tali onde vengono considerate perché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde p (7%) ed s (26%).

La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalle onde V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto delle V_s (parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito).

La tecnica Masw può essere schematizzata in tre punti:

1) acquisizione dei dati di campo: utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione, acquisizione dei dati con comuni geofoni a componente verticale particolarmente sensibili alle basse frequenze, geofoni da 4.5 hz, registrazione simultanea di 12 o più canali.



- 2) determinazione della curva di dispersione (valutazione dello spettro di velocità);
- 3) inversione della curva di dispersione interpretata per ottenere il profilo verticale delle VS che descrive la variazione di VS con la profondità.

LOCALITA'	N° PROVA	VALORE V_{S30}	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO
C.da Cornino - Via Libeccio	Masw 1	685	B
	Masw 2	689	B
C.da Cerriolo	Masw 3	870	A
	Masw 4	660	B
C.da Capitanazzo - Lentina	Masw 5	444	B
C.da Purgatorio	Masw 6	647	B
	Masw 7	696	B

12- CONCLUSIONI E SUSCETTIVITA' D'USO DEL TERRITORIO

Sulla base di tutte le informazioni contenute nelle cartografie di analisi e di sintesi dell'intero territorio comunale di Custonaci è stata redatta, a conclusione dello studio di supporto della Revisione Generale del P.R.G., la carta della suscettività all'edificazione così come indicato nella Circolare ARTA n.3/DRA del 20 Giugno 2014, prot. n.28807.

Il territorio è stato suddiviso in tre classi di suscettività d'uso comprendenti sub-aree idonee all'edificazione, sub-aree idonee "a condizione" di preventivi interventi di mitigazione del rischio o di misure tecniche specifiche preventive o da attuare in fase di edificazione ed aree non idonee poiché soggette a rischi naturali inaccettabili.

1) Aree a suscettività d'uso non condizionata

La classe comprende le aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14.1.2008).

In questa classe ricadono le aree prive di particolari problematiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e litotecniche.

Rientrano in questa classe il centro urbano di Custanaci, Sperone, Assieni, Cornino, Baglio Moglibelle, Baglio Vultaggio, Baglio Messina e Purgatorio.

2) Aree a suscettività d'uso condizionata

La classe comprende le aree nelle quali sono state riscontrate rilevanti problematiche geologiche, geomorfologiche e/o idrogeologiche che ne condizionano l'utilizzo a scopo edificatorio e la modifica della destinazione d'uso.

E' consentita l'attuazione delle previsioni degli strumenti urbanistici generali ed attuativi corredati da indagini geologiche e geotecniche estese ad un ambito morfologico o ad un tratto di versante significativo.

Sono state localizzate presso Casa Rizzo, Casa S.Madrechiesa, Portella Cipollazzo, Casa Fontana e C.da Colomba.

3) Aree a suscettività d'uso parzialmente o totalmente limitata

La classe comprende le aree con pericolosità e vulnerabilità molto alte che comportano forti limitazioni all'utilizzo per scopi urbanistici.

Rientrano in questa classe le aree ricadenti in Località Piano dei Tribli, Sanguigno, Assieni, Monte Bufara, Portella del Cerriolo, Portella Cipollazzo, Rocche del Tuono, Pizzo Corvo, Monte Cofano e Scurati.

Trapani lì, 09.05.2017

IL GEOLOGO
(Dott. Giuseppe Baiata)