



REGIONE SICILIA
ASSESSORATO REGIONALE ALL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti

MESSA IN SICUREZZA DEL SITO MINERARIO DISMESSO DI PASQUASIA IN TERRITORIO DEL COMUNE DI ENNA

CUP: G71J16000000003

PROGETTO ESECUTIVO

IL GEOLOGO
Dr. Eugenio Vecchio

Visto: il Responsabile del procedimento
ing. Vito Cangemi



N. ELAB.	TITOLO ELABORATO:
---------------------	------------------------------

A4	RELAZIONE GEOLOGICA
-----------	----------------------------

CODICE ELABORATO:

04_PASQ.PE.01.ER.A4_01

Tav. lavoro fase lotto tipo doc. n.ro elab. Rev.

C	TERZA EMISSIONE				
B	SECONDA EMISSIONE				
A	PRIMA EMISSIONE	27.05.2021			
00	PRIMA STESURA	22.02.2021			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA
ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA
E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITÀ
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO VI – GESTIONE INTEGRATA RIFIUTI-BONIFICHE

PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA AI SENSI
DEL D.Lgs. 152/2006 DEL SITO MINERARIO DISMESSO DI "PASQUASIA"
NEL COMUNE DI ENNA



RELAZIONE GEOLOGICA
PROGETTO ESECUTIVO

Il Geologo

(Dott. Eugenio Vecchio)



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA
ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA
E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITÀ
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO VI – GESTIONE INTEGRATA RIFIUTI-BONIFICHE

PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA AI SENSI
DEL D.Lgs. 152/2006 DEL SITO MINERARIO DISMESSO DI "PASQUASIA"
NEL COMUNE DI ENNA

SOMMARIO

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	6
3.1 <i>CONSIDERAZIONI RELATIVE AL PAI.....</i>	<i>10</i>
3.2 <i>ANALISI STATISTICO-QUANTITATIVA DELLE PRECIPITAZIONI CRITICHE.....</i>	<i>12</i>
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	22
5. INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO	24
5.1 <i>CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE: QUADRO NORMATIVO.....</i>	<i>27</i>
6. RISULTANZE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	30
6.1 <i>ANALISI E PROVE DI LABORATORIO E INTERPRETAZIONE DELLE PROVE GEOTECNICHE IN SITU</i>	<i>38</i>
7. RISULTANZE DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE	43
8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	46

1. PREMESSA

Il presente lavoro espone i risultati dello studio geologico esecutivo, effettuato dallo scrivente Dott. Geol. Eugenio Vecchio, regolarmente iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n° 1416, su incarico conferito dall'*Ufficio del Commissario Delegato per l'Emergenza Bonifiche e la Tutela delle Acque in Sicilia* come da nota prot. 3438 del 20.06.2012, per la messa in sicurezza della discarica mineraria all'interno del sito di Pasquasia, nel territorio comunale di Enna.

Attraverso lo studio eseguito si è pervenuti alla conoscenza dell'assetto generale dell'area in esame, in modo da potere definire le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche generali della zona oggetto degli interventi; inoltre, è stata acquisita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche finalizzata a conseguire un dettagliato grado di conoscenza degli aspetti stratigrafici e geotecnici dei luoghi.

Le fasi di lavoro sono state così articolate:

- acquisizione di dati geologici provenienti da studi e ricerche effettuate nell'area di studio;
- rilevamento geologico di superficie per definire le condizioni stratigrafico-strutturali del territorio esaminato;
- analisi degli aspetti idrologici e geomorfologici di superficie al fine di valutare le condizioni di stabilità generale sia del sito interessato direttamente dal progetto che delle aree limitrofe;
- analisi delle caratteristiche climatiche dell'area e verifica idraulica di un'asta torrentizia presente a ridosso della discarica mineraria;
- acquisizione degli esiti di una campagna di indagini geognostiche consistenti in:
 - esecuzione di n. 13 perforazioni a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati e prove in situ SPT per una completa caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sito,
 - messa in opera di tre piezometri per valutare la presenza e la profondità della falda idrica sotterranea;

-
- esecuzione di n. 2 prospezioni sismiche (Down- Hole e MASW) per la valutazione del V_{s30} dell'area mineraria;
 - esecuzione di prove di permeabilità in situ per la valutazione del grado di permeabilità dei litotipi presenti nell'area mineraria;
 - elaborazione dei dati raccolti e redazione degli elaborati cartografici.

Fanno parte integrante del presente elaborato i seguenti allegati:

- *Stralcio corografico* *scala 1:25.000*
- *Stralcio corografico* *scala 1:10.000*
- *Stralcio della carta dei dissesti del P.A.I. del Bacino del Fiume Imera meridionale* *scala 1:10.000*
- *Stralcio della carta della pericolosità e del rischio geomorfologico del P.A.I. del Bacino Fiume Imera meridionale* *scala 1:10.000*
- *Carta geologica* *scala 1:10.000*
- *Sezioni litostratigrafiche AA' e BB'* *scala 1:1.000*
- *Sezione litostratigrafica CC'* *scala 1:2.000*
- *Report indagini geognostiche*

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito minerario di Pasquasia, esteso nella sua interezza circa 70 ettari, è ubicato nel territorio comunale di Enna, a circa 18 Km dal suddetto capoluogo di provincia e a circa 22 Km da Caltanissetta, nella zona compresa tra la S.S. n° 122 Agrigentina a Sud, Monte Pasquasia a Nord ed il Fiume Morello ad Est; l'area in esame si trova ad una quota altimetrica di circa 440 metri s.l.m.

L'area mineraria è raggiungibile percorrendo tutta la S.S. 640 fino a Caltanissetta e proseguendo, successivamente, lungo il raccordo autostradale fino allo svincolo par la S.S. n° 626 "Valle del Salso"; percorrendo la Statale fino al bivio "Ponte Capodarso" e proseguendo lungo la S.S. 122, per 6 Km circa, si giunge al sito minerario.

Cartograficamente l'area è rappresentata nella Tavoletta "Borgo Cascino", Foglio 268 IV SE della Carta Ufficiale d'Italia IGM, ed è individuata nella porzione sud-orientale della Tavoletta tra i meridiani chilometrici 27-29 ed i paralleli chilometrici 51-53.

Nella C.T.R. il sito è individuato nella sezione n. 631070 "Monte Pasquasia".

Nel vigente Piano Regolatore Generale la zona ricade in area mineraria.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'assetto morfologico dell'area in cui ricade il sito minerario di Pasquasia è tipicamente collinare, con rilievi caratterizzati da morfologie fortemente condizionate dalla resistenza delle rocce affioranti all'azione degli agenti esogeni.

In particolare, l'intera area della miniera di Pasquasia si sviluppa ai piedi del versante meridionale del rilievo calcarenitico di "Monte Pasquasia" (609,9 m s.l.m.), caratterizzato da una morfologia allungata in direzione Est - Ovest e asimmetrica in direzione Nord - Sud.

L'assetto morfologico della collina subisce un condizionamento strutturale determinato dalla giacitura degli strati calcarenitici e sabbiosi che costituiscono ampiamente la geologia locale.

Infatti, la giacitura degli strati è caratterizzata da una direzione prevalente E-W e una immersione N-S che espone le testate dei banchi rocciosi a costituire a Nord un pendio fortemente acclive, più dolcemente degradante verso valle in direzione Sud, secondo una morfologia di tipo Cuestas.

Questo contesto espone il fronte Nord del rilievo a vistosi fenomeni morfodinamici riconducibili a frane di crollo che nel tempo hanno mobilizzato blocchi con volumi di svariati metri cubi, mentre il versante meridionale, in cui ricade l'area oggetto di studio, è caratterizzato da una condizione morfologica generalmente stabile e priva di dissesti attivi.

Dal punto di vista idrografico, l'asta principale nella zona è rappresentata dal F. Morello, affluente dell'Imera Meridionale (F. Salso) all'interno del cui bacino ricade la porzione di territorio in esame.

In particolare, la rete idrografica naturale del versante è caratterizzata da un sistema di aste fluviali di primo ordine che, orientate in direzione prevalente da Est verso Ovest si riversano nel collettore principale che ha una direzione Nord - Sud.

A tal riguardo si ritiene significativo evidenziare l'organizzazione del reticolo idrografico utilizzando la cartografia IGM degli anni '60 che rappresenta l'area

in questione in un momento storico in cui, pur già evidenti, ancora non sono fortemente incidenti gli interventi antropici.

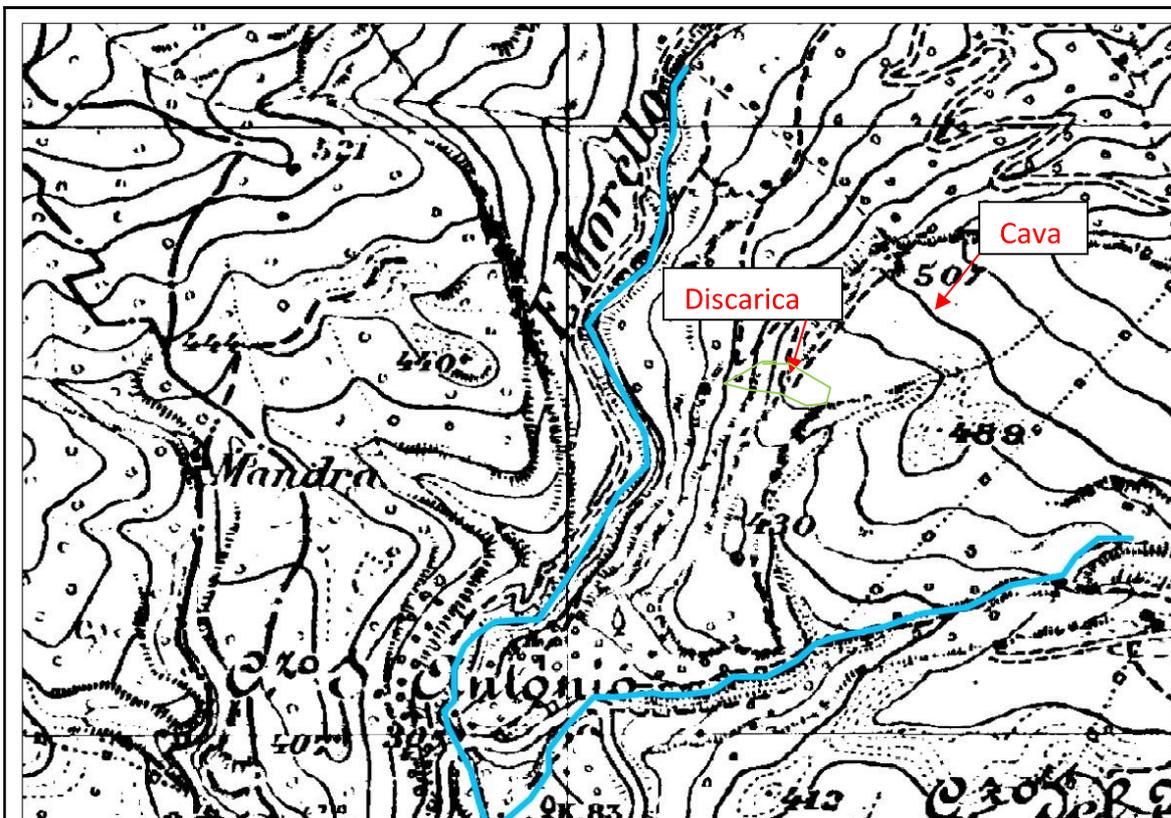


Fig. 1 - Stralcio Cartografico n. 1 – IGM anni '60.

Si nota già nello stralcio cartografico n. 1 relativo agli anni '60 un primo accumulo di discarica nel settore W-NW rispetto all'impianto minerario e una cava immediatamente a Nord.

Il sito di Pasquasia è stato oggetto di importanti modifiche di natura antropica che hanno determinato un condizionamento di tipo artificiale della morfologia strettamente locale dell'area.

Proprio il corpo di discarica rappresenta l'elemento antropico di maggiore importanza nella modifica dell'assetto morfologico dell'area per effetto di un importante accumulo di materiali di risulta derivanti dall'attività estrattiva e dall'attività di lavorazione proseguito dal 1959, ininterrottamente, sino all'anno di chiusura degli impianti 1992.

In tal modo si è accresciuta una discarica mineraria di 150.000 m² composta prevalentemente dal materiale proveniente dagli scavi minerari di preparazione e primo sviluppo della miniera e dagli sterili di flottazione,

contenenti probabilmente ammine aromatiche, rappresentati da cloruro di sodio. Risultano presenti, inoltre, all'interno della discarica, materiali di varia natura e tipologia quali manufatti verosimilmente in cemento-amianto, fusti metallici vuoti, pneumatici, tubazioni di gomma e plastica, legname ed altri rifiuti riconducibili alla pregressa attività mineraria. Il volume dell'abbancamento è stato valutato in circa 800.000 m³.

La conseguenza dell'accumulo dei materiali di discarica ha comportato anche una modifica dell'andamento della rete idrografica superficiale

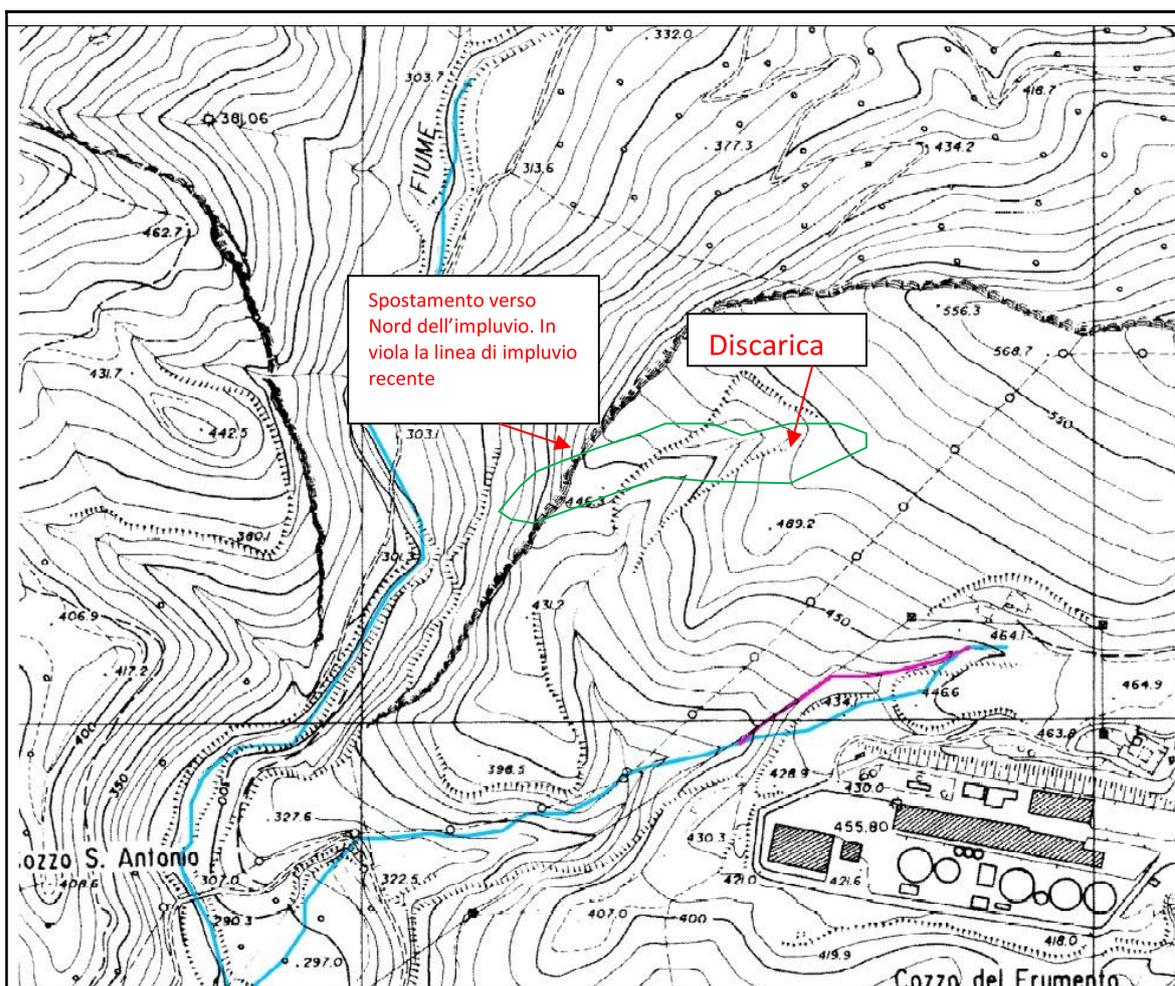


Fig. 2 - Stralcio Cartografico n. 2 – CTR anni '90

Lo stralcio cartografico n. 2 evidenzia l'accrescimento della discarica sino alle dimensioni attualmente rilevate e il conseguente spostamento verso Nord della linea di impluvio che originariamente marginava la discarica stessa lungo il suo lato settentrionale.

Naturalmente, l'esposizione incontrollata della discarica e la sua diretta interferenza con la rete idrografica costituisce una sorgente di inquinamento che raggiunge direttamente i corpi ricettori principali. Questa situazione impone la realizzazione di un sistema di isolamento idraulico del corpo della discarica dall'interferenza con le acque di origine meteorica e la regimazione dei deflussi superficiali.

Tali interventi hanno anche una fondamentale importanza dal punto di vista idrogeologico tenuto conto dei rapporti di permeabilità fra i litotipi che caratterizzano i luoghi.

Infatti, dal punto di vista idrogeologico l'area in esame presenta notevoli variabilità, in considerazione delle variazioni litologiche dei terreni in affioramento. Per tale motivazione è possibile riconoscere nell'area di studio diversi complessi idrogeologici così come in seguito riportati:

1. Complesso alluvionale (mediamente permeabile);
2. Complesso calcarenitico - sabbioso (mediamente permeabile);
3. Complesso marnoso - argilloso (impermeabile);

L'area della discarica mineraria ricade all'interno del complesso n. 2 "calcarenitico-sabbioso" e, per tale motivazione (mediamente permeabile), è oggetto di fenomeni di infiltrazione nel sottosuolo di parte delle acque di origine meteorica. Pur non essendo noto il loro percorso in sottosuolo, è evidente che l'interferenza con il corpo della discarica, classificabile quale riporto permeabile, genera anche una contaminazione delle acque che si infiltrano nel sottosuolo.

A maggior ragione, quindi, l'isolamento idraulico della discarica impedirà l'introduzione nel sottosuolo di agenti contaminanti.

3.1 Considerazioni relative al PAI

Come già detto, l'area ricade nell'ambito del Bacino Idrografico del F. Imera Meridionale il cui Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Imera Meridionale (072) - Area territoriale tra il Bacino Idrografico del Fiume Palma e il Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale (071), è stato adottato dalla Regione Siciliana con D.P.R. del 27.03.2007 e pubblicato sulla

G.U.R.S. n. 25 del 01.06.2007 e successivi aggiornamenti (I Aggiornamento Puntuale – II Aggiornamento Parziale – III Aggiornamento Parziale).

Il P.A.I. conferma le considerazioni geomorfologiche precedentemente esposte, non individuando, infatti, nell'area in esame, e nelle zone ad essa adiacenti, condizioni di pericolosità e rischio connessi a dissesti di tipo geomorfologico e di tipo idraulico.

Il medesimo PAI, individua però, nei luoghi in esame un steso "sito di attenzione" derivante dall'area mineraria di Pasquasia, in cui non viene esclusa la probabilità che si possano verificare fenomeni di dissesto (quali crolli, sprofondamenti, voragini, ecc.), legati a fenomeni di dissoluzione del giacimento salino in sottosuolo.

Per tale ragione il "sito di attenzione" è fatto coincidere con il perimetro della concessione mineraria.

Dal punto di vista normativo, ai sensi dell'Art. 2 delle Cap. 11 della Relazione Generale del PAI (Norme di Attuazione) i siti di attenzione " *vanno intesi come aree su cui approfondire il livello di conoscenza delle condizioni geomorfologiche e/o idrauliche in relazione alla potenziale pericolosità e rischio e su cui comunque gli eventuali interventi dovranno essere preceduti da adeguate approfondite indagini*".

La più recente circolare ARTA a riguardo (Circolare n. 38780 del 09.06.2011) recita:

Con riferimento ai siti di attenzione di carattere geomorfologico, le indicazioni relative alla tipologia e al grado di approfondimento delle indagini geologiche necessarie per valutare la fattibilità di una nuova costruzione, sono da riferirsi a quanto descritto all'interno delle Relazioni di ogni singolo Piano del P.A.I., nel paragrafo dedicato ai dissesti presenti nel corrispettivo territorio comunale; in ogni caso le valutazioni e gli studi tecnici necessari, dovranno essere esaminati da questo Dipartimento.

Nel caso specifico le opere di messa in sicurezza da realizzare non sono comparabili a nuove costruzioni, ma piuttosto ad interventi di manutenzione straordinaria che sono già consentiti nelle aree a rischio molto elevato (R4) sia di tipo Geomorfologico (Cap. 11 – Art. 9, Comma 1, lettera d - Relazione Generale PAI) che di tipo Idraulico (Cap. 11 – Art. 11, Comma 1, lettera d - Relazione Generale PAI)

Ciò nondimeno il grado di conoscenza acquisito permette di evidenziare come nell'ambito dell'area mineraria indagata con la campagna di sondaggi geognostici eseguiti nel corso del 2011 non sono stati rilevati nel sottosuolo sino alla profondità di 30 m dal p.c. corpi salini che potrebbero generare e innescare fenomeni di sprofondamento o l'apertura di voragini in superficie.

3.2 Analisi statistico-quantitativa delle precipitazioni critiche

Come già evidenziato, il fronte Nord del corpo della discarica è marginato da una linea di incisione che scarica i propri deflussi all'interno del bacino idrografico del Torrente Morello, affluente del F. Imera Meridionale.

Le opere di progetto prevedono la realizzazione di un sistema di regimazione dei deflussi idrici superficiali finalizzato alla raccolta e al controllo di tutte le acque meteoriche che precipitano sul corpo della discarica adiacente all'impianto minerario e che provengono dal versante Nord che delimita il corpo della discarica stesso.

E' stato, quindi, delimitato il bacino idrografico che alimenterà i canali di deflusso di progetto, al fine di pervenire alla definizione della portata critica attesa alla sezione considerata, corrispondente al punto di quota inferiore dell'incisione in esame.

La metodologia, che di seguito viene illustrata per la definizione della portata massima attesa, si basa sull'elaborazione dei dati storici di precipitazione e, più specificatamente, dei dati che riguardano eventi meteorici particolarmente intensi, ossia le piogge di massima intensità e breve durata.

Per tale ragione è stato fatto riferimento alle precipitazioni dell'ultimo decennio, ricorrendo ai dati forniti da SIAS – Servizio Agrometeorologico della Regione Sicilia, che dispone di una stazione di misura proprio in corrispondenza dell'area di Pasquasia.

<i>Stazione (Denominazione)</i>	<i>Località</i>	<i>Coordinate UTM</i>		<i>Quota m s.l.m.</i>	<i>Data inizio rilevamento</i>
ENNA	PASQUASIA	4152590	427200	350	01/01/2002

www.sias.regione.sicilia.it

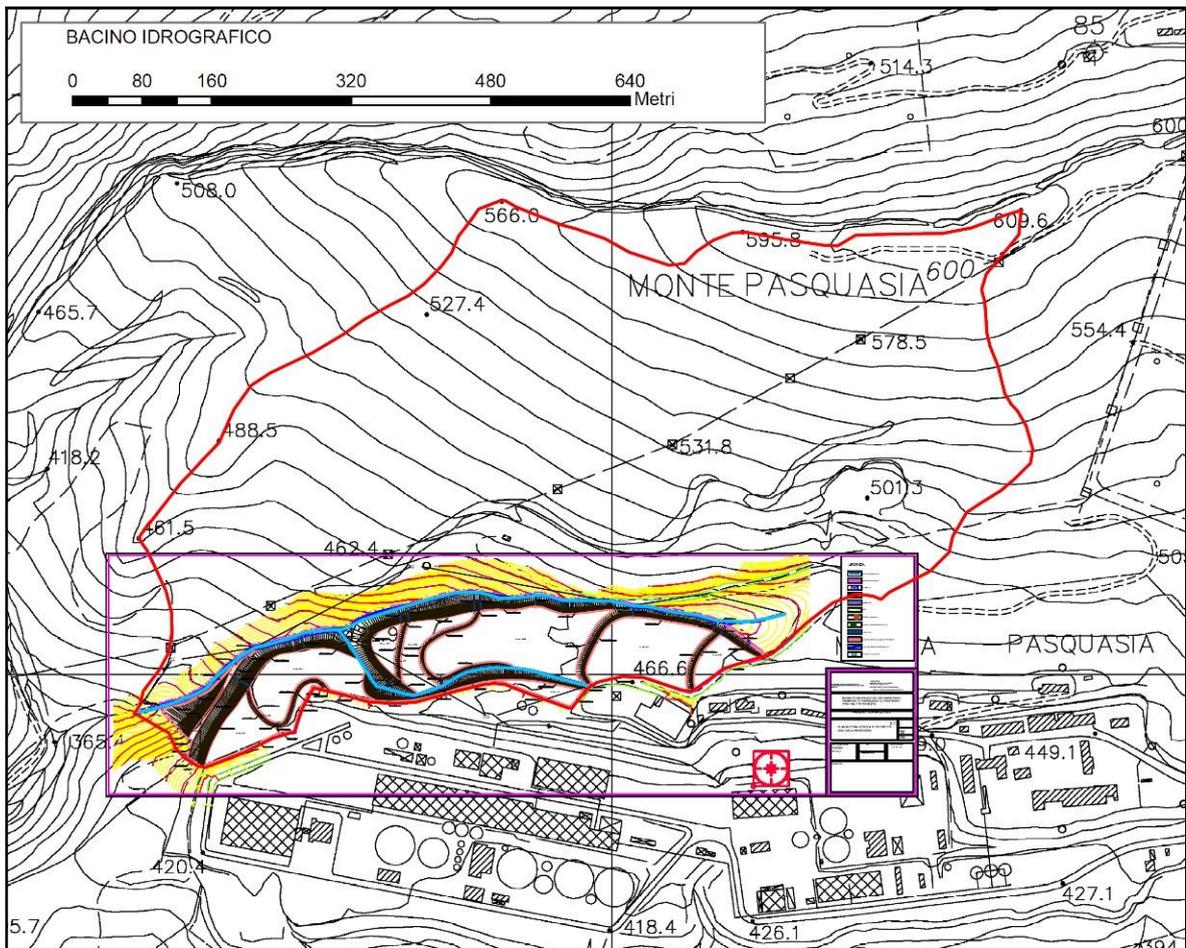


Fig. 4 – Carta del bacino idrografico di riferimento. In rosso è individuata la linea di spartiacque, in azzurro i canali di deflusso di progetto – Scala Grafica

Nella progettazione di opere idrauliche orientate al controllo delle portate di piena, è prioritariamente indispensabile procedere alla stima della portata massima prevedibile che le solleciterà nel corso della loro vita prevista.

La portata, nella maggior parte dei casi, è originata dalle precipitazioni meteoriche e, più in generale, dipenderà dalle caratteristiche molto variabili, sia nel tempo che nello spazio, delle trasformazioni che l'acqua subisce durante il suo ciclo idrologico. In siffatte condizioni, è praticamente impossibile calcolare la massima portata prevedibile in senso deterministico e bisognerà, quindi, affrontare il problema nel solo modo possibile, e cioè in termini probabilistici. Significa, cioè, che la portata di piena va considerata come una variabile casuale, la quale, conseguentemente, dovrà essere stimata relativamente ad un livello di probabilità che essa ha di non essere superata o, meglio ancora, relativamente ad un periodo di tempo (detto tempo di ritorno)

che intercorre, in media, tra due eventi in cui il valore di tale portata viene superato.

In genere, è possibile riconoscere due tipi di problemi, a seconda del tipo di informazioni di cui si dispone:

1. stima della portata di piena di progetto direttamente dall'analisi probabilistica di osservazioni dirette di portata fatte in passato nel sito;
2. stima della portata di piena di progetto attraverso l'analisi probabilistica preliminare delle precipitazioni nel bacino idrografico interessato e la simulazione conseguente del processo della loro trasformazione in deflussi.

Il calcolo che seguirà si occupa del secondo caso, quello cioè riguardante, in particolare, i bacini idrografici non monitorati e di non eccessive dimensioni.

A seguire si riportano, tabellate, tutte le caratteristiche dimensionali del bacino idrografico

	BACINO
Area (mq)	436.642
Lunghezza del corso d'acqua (m)	783
Altitudine massima corso d'acqua (m s.l.m.)	468
Altitudine sezione esaminata (m s.l.m.)	383
Altitudine massima spartiacque bacino idrografico (m s.l.m.)	609,6

Poiché il bacino in questione è caratterizzato da modesta estensione, per la determinazione della portata di massima piena per assegnati tempi di ritorno, si è utilizzato il metodo analitico definito "metodo razionale".

Secondo tale metodo la portata massima per assegnato tempo di ritorno è espressa dalla seguente formula:

$$Q_{\max} = \frac{C h_{\tau_c, T} S}{3,6tc}$$

in cui:

- S: è la superficie del bacino, espressa in km²;
- h_{τcT}: è l'altezza critica della precipitazione di durata τ_c e tempo di ritorno T, espressa in mm;
- C: è il coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di infiltrazione dei suoli ricadenti nel bacino;
- 3.6: è un fattore di conversione delle unità di misura che consente di ottenere la Q_{max} (portata di piena) in m³s⁻¹.

Al fine di potere procedere al calcolo della formula suddetta occorre innanzi tutto definire il tempo di corrivazione, vale a dire il tempo che occorre affinché dall'inizio di un fenomeno meteorico, avvenga la massima piena alla sezione considerata.

Per la determinazione del tempo di corrivazione del bacino idrografico, essendo piccolo per estensione, è stata adottata l'equazione che riassume le formule matematiche di Kirpich:

$$\tau_c (\text{ore}) = 0,003245 \cdot \left[\frac{1000 \cdot L \sqrt{1000 \cdot L}}{\sqrt{h_{\max}}} \right]^{0,77}$$

dove:

- L = lunghezza del percorso idraulico principale in chilometri
- h_{max} = altezza massima in metri del bacino rispetto alla sezione di chiusura

Nei casi in esame, utilizzando i dati geografici sopra riportati, è stato calcolato il seguente valore del Tempo di Corrivazione.

	BACINO
τ _c (minuti)	0,6
τ _c (ore)	36,2

La pioggia di massima intensità è stata determinata a partire dalle curve di probabilità pluviometrica, tracciate ipotizzando che la distribuzione delle altezze di pioggia di massima intensità e brevi durate segua la legge di Gumbel: a tal proposito si è provveduto alla individuazione dai dati SIAS, delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore. I dati reperiti riguardano dieci anni di osservazioni, compresi tra il 2002 e il 2011.

Nella tabella a seguire sono riportati anche i parametri statistici da utilizzare per i successivi calcoli:

- valore medio "M",
- scarto quadratico medio "s"
- e coefficiente di variazione "CV".

Anno	1h	3h	6h	12h	24h
2002	10,00	14,80	18,20	19,80	19,80
2003	59,80	81,80	89,40	98,60	108,80
2004	19,60	26,80	33,00	37,40	46,00
2005	27,40	49,60	61,40	84,80	110,80
2006	33,40	35,20	35,20	37,80	48,40
2007	8,80	17,00	19,00	21,80	27,20
2008	32,40	24,80	58,80	74,00	97,60
2009	32,60	32,80	42,40	47,40	57,40
2010	16,40	25,20	27,00	38,80	45,00
2011	22,80	28,20	33,20	43,00	43,40

Media M	26,32	33,62	41,76	50,34	60,44
Scarto Quadratico medio s	14,82	19,54	22,19	26,55	33,17
Coefficiente di variazione CV	0,56	0,58	0,53	0,53	0,55

I parametri caratteristici di tale distribuzione "K" e " μ " sono dati dalle seguenti espressioni:

$$K = 1,283/s$$

$$\mu = M - 0,5772/K$$

	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
K	0,087	0,066	0,058	0,048	0,039
μ	19,65	24,83	31,78	38,40	45,52

Riepilogando, quindi, i parametri della legge di Gumbel sono i seguenti:

t (ore)	1	3	6	12	24
<i>M</i>	26,32	33,62	41,76	50,34	60,44
<i>S</i>	14,82	19,54	22,19	26,55	33,17
<i>K</i>	0,087	0,066	0,058	0,048	0,039
μ	19,65	24,83	31,78	38,40	45,52

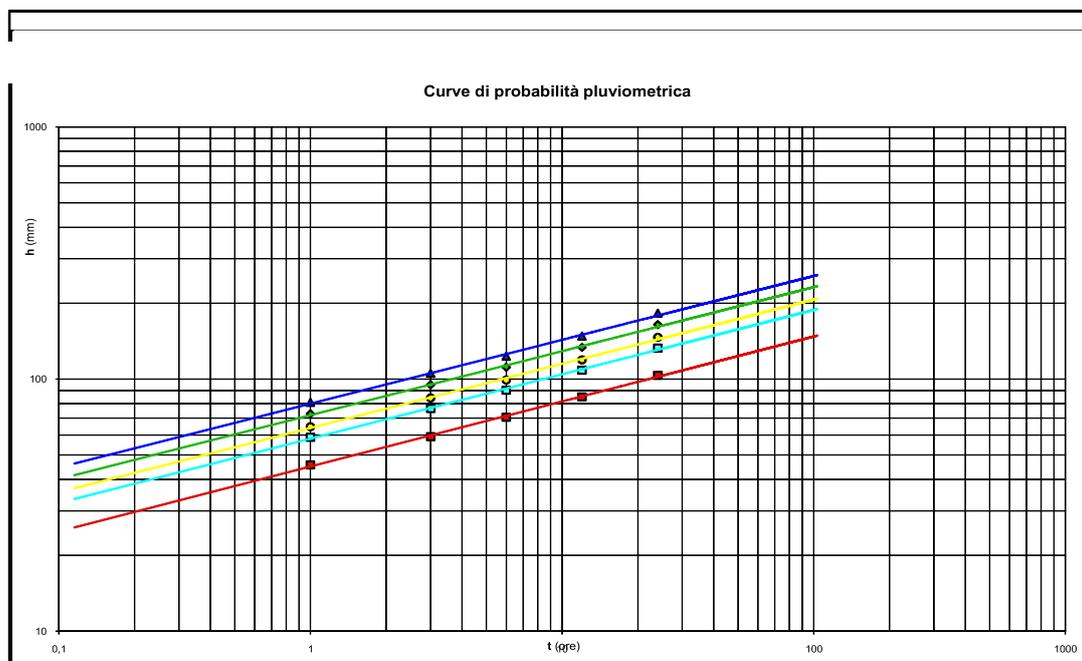
I valori delle altezze di pioggia massima " h_{max} ", per ciascuna coppia durata-tempo di ritorno, sono dati dalla seguente espressione:

$$h_{max} = \mu - K^{-1} \ln \ln(T/(T-1))$$

per effetto della quale le altezze di pioggia massima con riferimento ai tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anni sono le seguenti:

T/t	1	3	6	12	24
T = 2 anni	23,886	30,412	38,117	45,980	54,993
T = 5 anni	36,982	47,670	57,716	69,435	84,298
T = 10 anni	45,653	59,097	70,693	84,963	103,700
T = 20 anni	53,970	70,057	83,141	99,859	122,312
T = 50 anni	64,736	84,245	99,253	119,140	146,402
T = 100 anni	72,803	94,876	111,327	133,588	164,455

Con la conseguente elaborazione delle sotto riportate curve di probabilità pluviometrica:



Tempo di ritorno (anni)	Legge di pioggia – $h = a \times t^n$
10	$h=45,034xt^{0,2578}$
30	$h=58,019xt^{0,2554}$
50	$h=63,946xt^{0,2546}$
100	$h=71,942xt^{0,2538}$
200	$h=79,907xt^{0,2531}$

Attraverso le leggi di pioggia derivate è stata calcolata l'altezza di precipitazione critica (h_{tc}) in funzione del tempo di corrivazione, in relazione ai vari tempi ritorno:

$$h_{tc} = h_{lora} \times \left(\frac{tc}{60} \right)^{0,385}$$

Pertanto, facendo riferimento al tempo di corrivazione, si ottengono le altezze critiche di pioggia.

BACINO	
τ_c (minuti)	
36,2	
Tempo di ritorno T (anni)	h (t,T) mm
T = 2 anni	19,675
T = 5 anni	30,463
T = 10 anni	37,606
T = 20 anni	44,457
T = 50 anni	53,325
T = 100 anni	59,970

Pertanto, utilizzando i dati complessivi relativi alle caratteristiche dei bacini ed alle altezze di pioggia critica è stata calcolata la portata massima per i vari tempi di ritorno per ciascun bacino.

A tale risultato si perviene utilizzando la formula razionale:

$$Q_{max} = \frac{C h_{t,T} S}{3,6\tau}$$

In cui vengono presi in considerazione i seguenti parametri

- C, coefficiente di deflusso
- $h_{t,T}$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno, espressa in mm
- S, superficie del bacino, espressa in km^2

- τ_c , tempo di corrivazione espresso in ore.

In particolare, considerata la modesta estensione del bacino e considerato che circa $\frac{1}{4}$ della sua superficie (coincidente con il corpo della discarica) sarà oggetto di impermeabilizzazione superficiale, molto cautelativamente il coefficiente di deflusso è stato considerato pari ad 1.

Ne derivano quindi le seguenti portate critiche per un tempo di ritorno variabile da 2 a 100 anni.

T (anni)	2	5	10	20	50	100
Q (mc/sec)	3,9	6,1	7,5	8,9	10,7	12,0

Come risulta dai documenti progettuali il canale di raccolta dei deflussi superficiali è caratterizzato da una sezione trapezia con le seguenti dimensioni:

CARATTERISTICHE SEZIONE

DATI NOTI (da inserire)

H	⇒ 0,86	ALTEZZA [m]
a	⇒ 1,00	[m]
b	⇒ 4,63	[m]
h	⇒ 0,86	[m]
p	⇒ 30,0%	Pendenza
m	⇒ 2,5	Coeff. di scabrosità di Kutter

DATI RISULTANTI

Inclinazione scarpata	α	⇒	25,4 [°]
Contorno bagnato	$Pb = a + 2h / \text{sen } \alpha$	⇒	5,017 [m]
Area di deflusso	$A = h[\alpha + h \text{ tg}(90 - \alpha)]$	⇒	2,4209 [m ²]
Raggio idraulico	$Ri = \frac{A}{Pb}$	⇒	0,483 [m]

CAPACITA' DISMALTIMENTO per un'altezza d'acqua h = 0,86 m

FORMULE (moto uniforme)

Portata	$Q = AV$	dove	A = Area di deflusso V = Velocità di deflusso
Velocità di deflusso	$V = c \sqrt{Ri \cdot p}$	dove	c = coefficiente di attrito Ri = raggio idraulico p = pendenza
Coefficiente di attrito	$c = \frac{100 \cdot \sqrt{Ri}}{m + \sqrt{Ri}}$	dove	m = Coeff. Di scabrosità di Kutter

RISULTATI

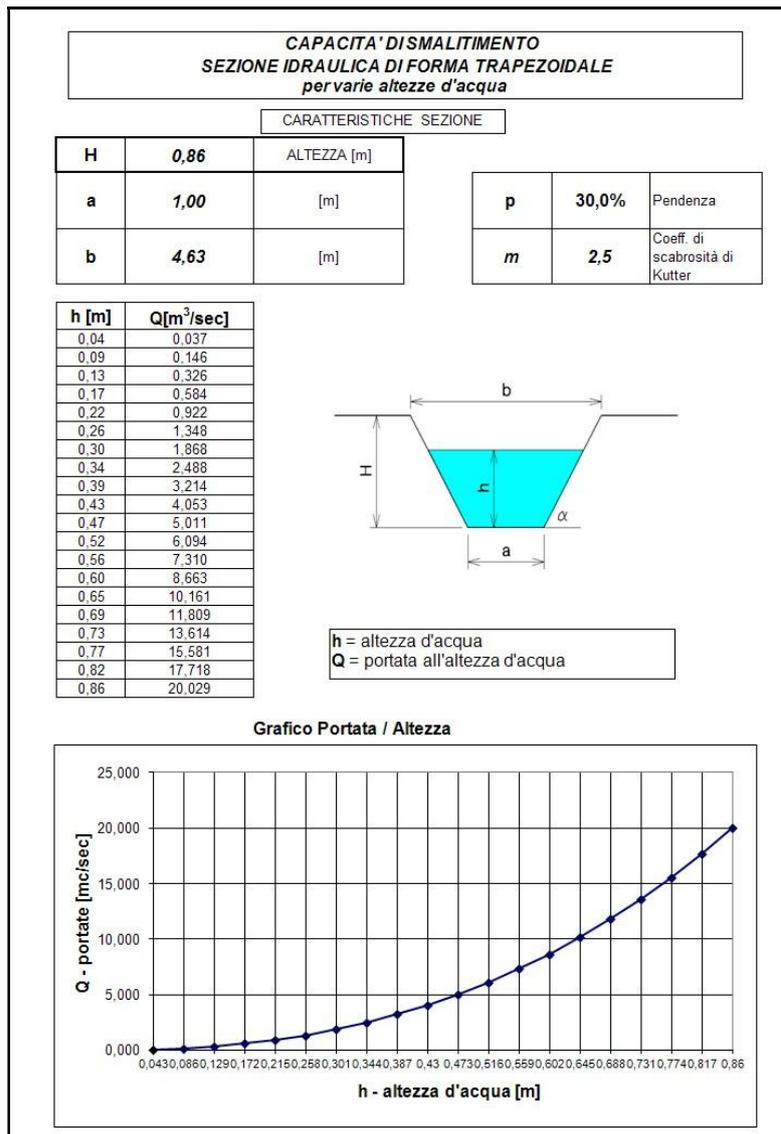
c	⇒	21,74
V	⇒	8,27 [m/sec]
Q	⇒	20,029 [m ³ /sec]

Assimilando il Coefficiente di scabrosità di Kutter a quello di un alveo caratterizzato da sponde in terra con depositi irregolari di massi e ghiaia.

NATURA DELLE PARETI	γ	m
1. Pareti di cemento perfettamente lisciate o di tavole piallate o tubazioni di eternit	0,06	0,12
2. Pareti di cemento lisciate o di tavole piallate o tubazioni di acciaio senza saldatura	0,10	0,15
3. Pareti di intonaco ordinario, grès ceramico, lamiera sottile con chiodature poco sporgenti, ghisa nuova	0,16	0,20
4. Tubazioni in cem. lisciate, con diametro $> 0,40$ m, o tubazioni in lamiera con molte chiodature	0,18	—
5. Calcestruzzo piano, tubi di cem. con giunture frequenti, ghisa in servizio corrente	0,23	0,25
6. Pareti in cem. non bene lisciate, o pareti di tavole grezze, o di muratura ordinaria molto accurata, o in terra molto regolare, o tubi di ghisa in servizio da molti anni, o tubi in lamiera con moltissime chiodature	0,36	—
7. Pareti di cemento male lisciate, o di pietrame ordinario	0,46	0,55
8. Terra irregolare, calcestruzzo grezzo o vecchio, cement-gun, ghisa vecchia	0,85	0,75
9. Canali in terra con lievi depositi di sabbia sul fondo, o con pareti di muratura in cattive condizioni, o con pareti metalliche o rivestite di lamiera con chiodatura ordinaria	1,00	1,25
10. Terra a sez. irregolare con erbe sporgenti, fiumi naturali in letto regolare	1,30	1,75
11. Canali in terra in cattive condizioni, vegetazione sul fondo e sulle sponde, o depositi irregolari di massi e ghiaia .	1,75	2,50
12. Canali di terra in abbandono, con sezione quasi interamente ostruita dalla vegetazione, o corsi naturali con alveo in ghiaia	2,30	3,00

Coefficienti γ della formula di Bazin e Coefficienti m della formula di Kutter
[da "Manuale tecnico del geometra e del perito agrario" - ed. Signorelli Milano 1973]

In particolare, per le varie altezze d'acqua la sezione trapezoidale è in grado di smaltire portate via via crescenti come di seguito specificato.



I dati sopra riportati, evidenziano quindi come le portate massime calcolate con un tempo di ritorno di 100 anni (12 mc/sec) sono ampiamente sostenibili dalla sezione del canale di raccolta dei deflussi (20 mc/sec).

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame appartiene al contesto geologico della Sicilia centro-meridionale, prevalentemente caratterizzato dagli affioramenti della Serie Evaporitica compresi fra i depositi terrigeni pre-messiniani e plio-pleistocenici.

L'assetto geologico-strutturale è quello di un'ampia struttura monoclinale che tende a ringiovanire verso sud. La successione stratigrafica, procedendo dai termini più antichi verso quelli più recenti, risulta così costituita:

- argille e marne argillose a struttura omogenea, fortemente alterate in superficie, con intercalazioni irregolari e discontinue di calcari marnosi biancastri passanti ad argille e marne argillose a contenuto sabbioso: "Marne di Enna" (*Pliocene medio-inferiore*);
- calcareniti di colore ocraceo spugnose, ben cementate, ad elevato contenuto fossilifero, ben stratificate con intercalazioni di sabbie sciolte: "Calcareniti di Capodarso" (*Pliocene medio-superiore*);
- marne-argillose talvolta sabbiose di colore giallastro passanti verso l'alto a sabbie gialle: "Marne di Geracello" (*Pliocene superiore - Pleistocene superiore*);
- detrito limo-argilloso con frequenti blocchi calcarenitici di dimensioni variabili da modeste a notevoli: "Detrito di falda" (*Olocene*);
- detrito limo-argilloso con ciottoli arrotondati di natura prevalentemente calcarea: "depositi alluvionali" (*Olocene*);
- depositi antropici derivanti dalle lavorazioni industriali comprendenti sterili provenienti dall'impianto di flottazione, originati dalla raffinazione dei prodotti estratti, e prodotti di escavazione di pozzi e gallerie minerarie: "Discarica mineraria" (*Attuale*)

In particolare, l'area interessata dal progetto di messa in sicurezza di emergenza della discarica mineraria ricade in corrispondenza degli affioramenti delle "calcareniti di Capodarso" tardo plioceniche. Tale formazione, corrispondente alla marnoso - arenacea della Valle del Belice, risulta costituita alla base da argille marnose e marne argillose, fino a divenire una marna grigia ben visibile negli affioramenti calanchivi di Contrada Pizzuto, sul versante orientale di Monte Capodarso.

Questo litotipo appena descritto passa gradualmente, mediante marne sabbiose, alla litologia successiva, costituita da calcareniti fossilifere con caratteristiche laminazioni incrociate, di colore giallo-rossiccio e frequenti intercalazioni sabbiose di colore rossastro e talora grigio. Si passa quindi lateralmente e verticalmente a sabbie argillose grigie separate da sabbie marroni da una lente più competente e pertanto messa in risalto dall'erosione selettiva, di arenarie compatte, fossilifere, molto simili alle sottostanti biocalcareni dalle quali si distinguono per una minore consistenza.

Verso sud questa stessa litologia lascia eteropicamente il posto ad argille sabbiose: l'insieme dei suddetti litotipi genera, come affermato in precedenza, due complessi idrogeologici, uno marnoso-argilloso e uno calcarenitico sabbioso, giacenti in chiari rapporti di eteropia. All'interno delle calcareniti sono stati riconosciuti sette cicli sedimentari, ognuno dei quali costituito da argille siltose passanti gradualmente a calcareniti grigio-giallastre a stratificazione piano-parallela e laminazioni incrociate.

I singoli banchi sono sovrapposti e sfalsati di modo che man mano che uno va assottigliandosi verso Sud ne compare un altro superiormente fino a trovarne un massimo di tre sovrapposti l'uno all'altro. Il passaggio laterale di facies con le calcareniti è costituito da sabbie a granulometria fine o media la cui permeabilità è parzialmente ridotta per la presenza di una certa componente argillosa in tutto il litotipo.

5. INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

Considerando l'inquadramento geologico appena esposto e l'analisi della sismicità locale e regionale, si cercherà di fornire una sintesi sismotettonica finalizzata a determinare se, all'interno della zona in esame, si possano verificare eventi sismici significativi.

La zonazione di riferimento ZS9 (a cura di C. Meletti e G. Valensise - marzo 2004) attualmente utilizzata in Italia è costituita da 36 zone sismogenetiche rilevanti. Alla base della zonazione vi è un modello che suppone il riconoscimento di almeno una struttura principale (master fault) con associate una serie di strutture sintetiche o antitetiche secondarie ma con cinematica congruente a quella della struttura principale. Pertanto, come zona sismogenetica si intende una zona caratterizzata da persistente attività sismica con manifestazioni a carattere uniforme, localizzate all'interno di un settore strutturale lungo le superficie di discontinuità divisorie di differenti condizioni cinematiche o meccaniche.

La definizione di tali zone risulta importante in quanto esse rappresentano la sorgente di eventuali eventi sismici che potrebbero farsi risentire all'interno della zona in esame. La figura n. 14 mostra la distribuzione delle zone sismogenetiche individuate in Sicilia.

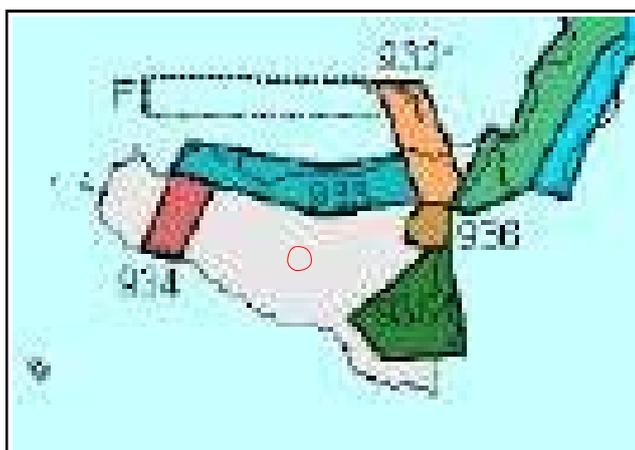


Fig. 5 - Zone sismotettoniche della Sicilia (nel cerchio rosso, l'ubicazione dell'area di progetto)

Nel caso in esame l'area di progetto è prossima alle zone sismogenetiche 933 (Sicilia settentrionale), 935 (Sicilia sud-orientale) e 936 (Etna),

La consultazione di vari cataloghi sismici (Catalogo ISC, Catalogo Macrosismico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e del Catalogo Parametrico Terremoti Italiani – CPTI04) ha permesso la raccolta di numerosi dati indicanti un'ampia "case history" riguardante i terremoti avvenuti all'interno del territorio italiano.

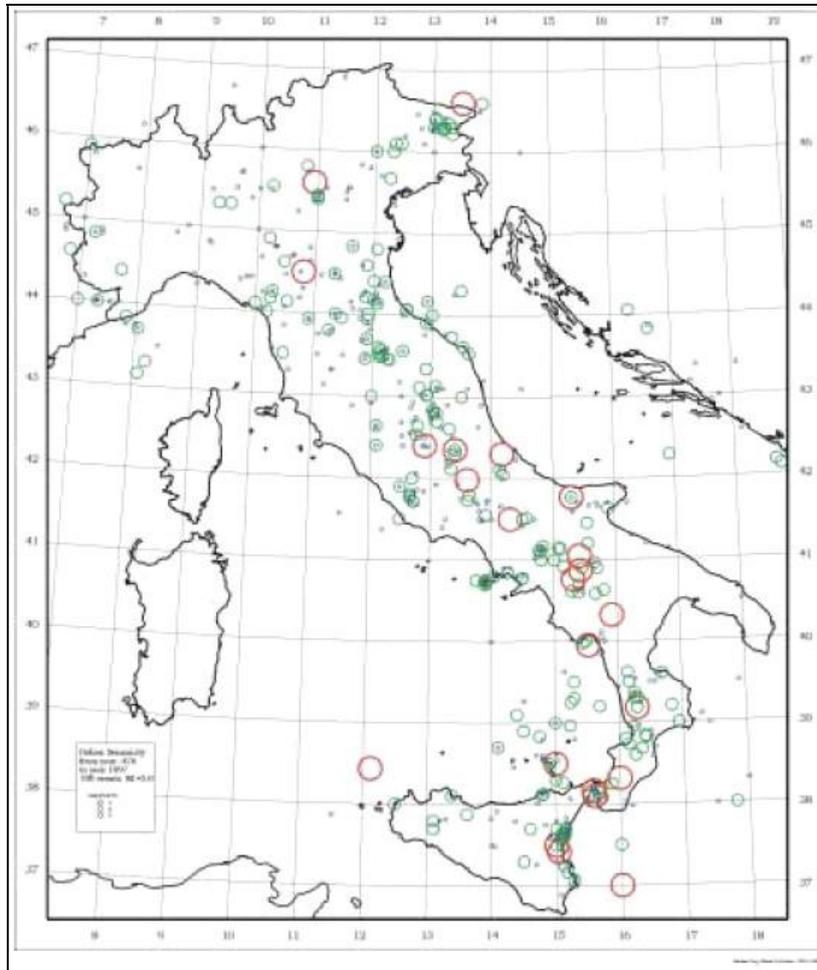


Fig. 6 - Sismicità dell'Italia dal 476 AC al 1997 DC (eventi con M>5)

Nella tabella di seguito riportata, tratta dal sito del Servizio Sismico Nazionale, vengono elencati i terremoti storici che hanno colpito il territorio di Barrafranca, l'unico adiacente alla zona in esame del quale è disponibile una banca dati, disposti in ordine di Intensità Sismica (IS) registrata nell'area in studio (Fonte Catalogo INGV - www.ingv.it)

Osservazioni sismiche (5) disponibili per
BARRAFRANCA (EN) [37.375, 14.201]

Data					Effetti	in occasione del terremoto di:		
Ye	Mo	Da	Ho	Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix	Ms
1693	01	11			80	SICILIA ORIENTALE	110	70
1959	12	23	09	29	40	PIANA DI CATANIA	65	47
1980	01	23	21		20	MODICA	55	40
1908	12	10	06	20	NF	NOVARA DI SICILIA	70	50
1909	07	01	06	24	NF	CALABRO MESSINESE	80	55

(IS intensità al sito x 10)

Volendo approfondire la questione della distribuzione degli epicentri, viene di seguito mostrata una carta con indicati tutti i terremoti, anche quelli di piccola entità, che hanno caratterizzato la Sicilia dal 1891 al 1975.

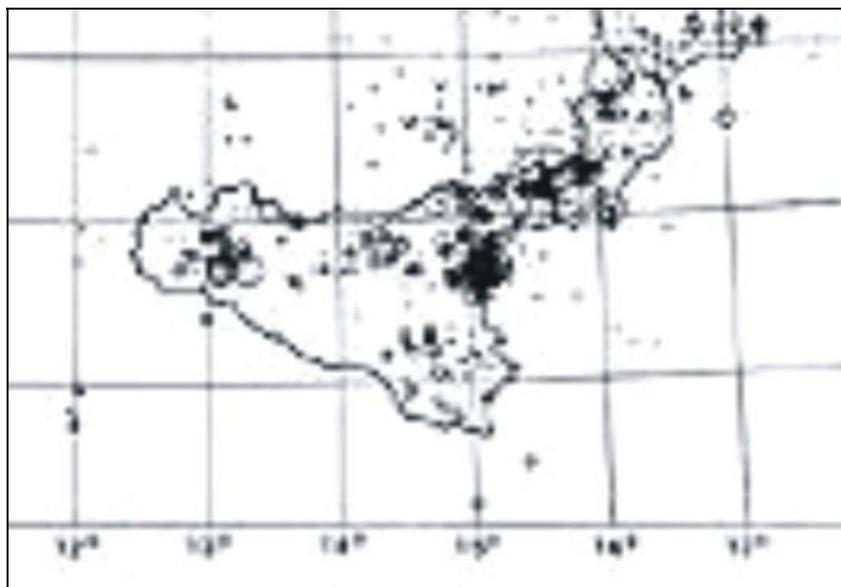


Fig. 7 - Terremoti in Sicilia dal 1891 al 1975

Dall'osservazione della figura precedente si possono notare aree caratterizzate da una maggiore densità degli epicentri ed inoltre è possibile dedurre, se si confrontano le figure n. 14 e n. 16, come vi sia generalmente una corrispondenza tra l'andamento delle strutture tettoniche e la distribuzione spaziale della sismicità; ancora, si può notare come l'area di nostro interesse è interessata da pochi eventi sismici durante il lasso di tempo considerato.

In definitiva risulta quindi che i livelli di sismicità possibili nella zona di interesse sono dovuti a risentimenti provenienti dalle zone sismogenetiche della Sicilia Settentrionale ed Orientale che ben si inquadrano e si giustificano su basi geologiche e tettoniche, sia per quanto riguarda l'ubicazione che la potenzialità sismica. In particolare, visti i dati raccolti, non sono da escludere eventi sismici della stessa intensità di quelli già osservati in tempi storici ed i livelli di sismicità attesi giustificano la presenza della zona di interesse tra le aree classificate come zone sismiche.

5.1 Classificazione sismica del territorio comunale: quadro normativo

Relativamente agli aspetti sismici, con l'Ordinanza Presidente del Consiglio n° 3274 del 20/03/2003 pubblicata nella G.U. n. 105 8/5/2003 (recepita dalla Regione Sicilia con delibera di Giunta regionale n° 408 del 19/12/2003 e successivo decreto del Dipartimento Regionale Protezione Civile del 15 gennaio 2004 - G.U.R.S. n° del 13/02/2004), in tema di classificazione sismica del territorio, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone a seconda della probabilità ed intensità dell'evento sismico (riferita ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g).

Le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974 e dei successivi decreti ministeriali, alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), mentre per la zona 4 è stata data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica.

Classificazione L. 64 del 2/2/74	Classificazione 2003 Ord. P.C. n°3274 del 20/3/03
Sismicità alta $S=12$	1
Sismicità media $S=9$	2
Sismicità bassa $S=6$	3
N.C.	4

La classificazione sopra riportata ha comportato per il territorio siciliano, oltre alla scomparsa delle zone non classificate sismiche che divengono di 4° livello (con facoltà della Regione di applicare eventuali norme tecniche specifiche), un complessivo aumento delle zone sismiche di 1° livello che

passano da 18 Comuni a 36, tutte ristrette nel settore della Valle del Belice (Provincia di Trapani) ed in Provincia di Messina.

In particolare, secondo la classificazione sismica precedente alla O.P.C.M. 3274 (Decreti fino al 1984), il Comune di Enna rientrava in zona sismica II.

Tale livello di pericolosità è stato riconfermato dalla classificazione effettuata dall'O.P.C.M. 3274 che inserisce il territorio in oggetto in Zona 2.

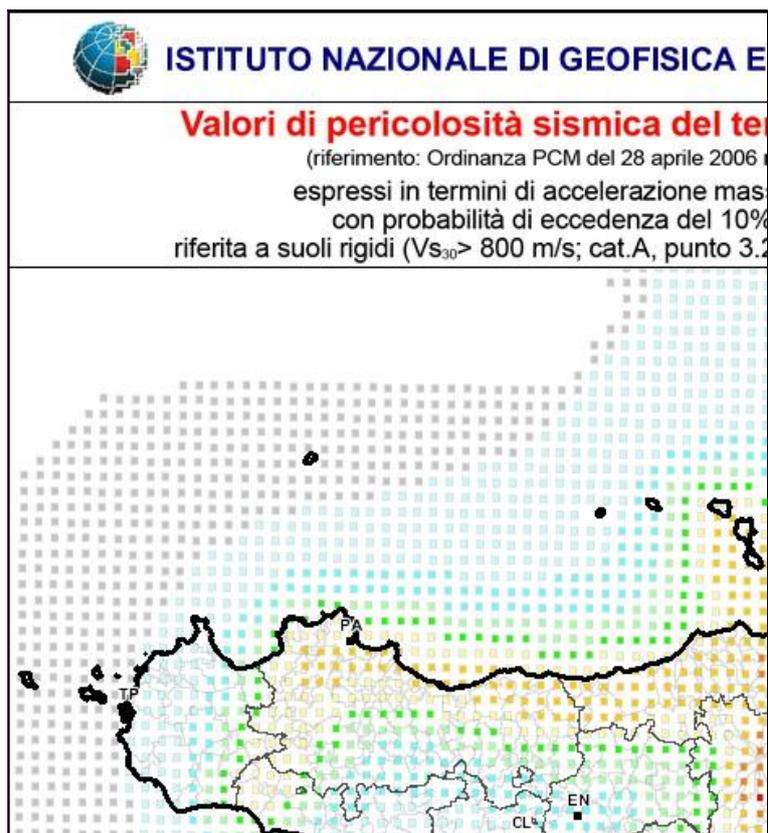
La Regione Siciliana, in ottemperanza all'attribuzione alle regioni delle funzioni in materia di individuazione delle zone sismiche, con D.P.R. 15 gennaio 2004 ha reso esecutiva la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Siciliana deliberata dalla Giunta Regionale il 19 dicembre 2003 che conferma quanto stabilito dall'O.P.C.M. 3274 e successive modifiche ed integrazioni.

La ricerca storica degli eventi sismici ha evidenziato che il settore maggiormente colpito in passato, e al tempo stesso maggiormente indiziato di un possibile ripetersi di calamità sismiche, è rappresentato dalla fascia orientale della Sicilia, dal Basso Tirreno al Canale di Sicilia e dal settore della Valle del Belice, già in passato oggetto di violenti eventi sismici.

Il settore occidentale siciliano a cavallo della Valle del Belice è stato interessato nel 1968 da una serie di forti scosse sismiche che provocarono gravissimi danni e vittime specialmente negli abitati di Gibellina, Monte vago, S. Margherita Belice, Salemi, Partanna e Menfi.

L'ultimo evento sismico di impatto rilevante ha colpito la zona sud-orientale della Sicilia il 13 dicembre 1990. I restanti settori della Sicilia, non presentano eventi sismici storicamente significativi e statisticamente ricorrenti, così come tutto il settore attraversato dai lavori in progetto, ad esclusione di scosse o sciami sismici secondari.

Dall'elaborazione statistica della distribuzione e intensità degli eventi sismici registrati, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha prodotto la carta della pericolosità sismica nazionale, dalla quale è estratta la parte rappresentativa della Sicilia.



La normativa vigente, in termini di pericolosità sismica, è stata aggiornata con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, secondo le cui disposizioni la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e la sua determinazione deve essere eseguita secondo l'approccio semplificato previsto dal § 3.2.2 delle NTC.

A tal fine è stato necessario valutare il valore del V_{s30} affinché si possa definire l'esatta categoria di appartenenza del suolo nel sito di progetto.

6. RISULTANZE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di approfondire le conoscenze stratigrafiche del sito, è stata acquisita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche tali da approfondire e definire l'assetto stratigrafico della zona di intervento, valutare le caratteristiche tecniche ed elastiche dei terreni e ricostruire il modello geologico-geotecnico locale.

La campagna di indagini, eseguita nel marzo del 2011, è stata articolata procedendo all'esecuzione di:

- n. 13 perforazione a carotaggio continuo, e in qualche caso a distruzione di nucleo, per complessivi 360 m di perforazione, durante le quali sono stati prelevati n. 8 campioni indisturbati e n. 18 campioni rimaneggiati per le analisi e prove di laboratorio geotecnico;
- n. 23 piezometri a tubo aperto per definire la presenza e la profondità della falda idrica sotterranea;
- n. 14 prove S.P.T. per definire le caratteristiche meccaniche dei litotipi incoerenti individuati nel corso delle perforazioni meccaniche;
- n. 1 prospezione sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), basata sulla registrazione delle onde superficiali di Rayleigh, e di n. 1 prospezione sismica in foro del tipo "Down-Hole", basata sulla registrazione delle onde di volume, necessarie alla definizione del profilo sismostratigrafico, in termini di propagazione delle onde Vs, del substrato dell'area di progetto;
- n. 2 prove di permeabilità Lefranc e n. 2 prove di permeabilità Lugeon per definire la capacità dei principali litotipi di farsi attraversare dalle acque di infiltrazione meteorica e di deflusso sotterraneo;
- n. 6 rilievi televisivi all'interno dei fori di sondaggio per valutare lo stato qualitativo degli ammassi rocciosi attraversati.

Le perforazioni a carotaggio continuo sono state effettuate nell'area della discarica mineraria con sonda BERETTA T44.

Nello specifico, si riportano a seguire le colonne stratigrafiche derivanti dalle perforazioni meccaniche:

Sondaggio S01

Da m 0,00 a m 0,80:	materiale di riporto.
Da m 0,80 a m 1,60:	calcareniti organogene ben diagenizzate.
Da m 1,60 a m 4,20:	sabbie organogene ocracee con breccie calcarenitiche sparse, moderatamente addensate.
Da m 4,20 a m 9,10:	calcareniti organogene ben diagenizzate, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici esposte.
Da m 9,10 a m 30,00:	marne siltose da sabbiose a con sabbia, da consistenti a fortemente consistenti, grigiastre, maleodoranti per la presenza di frazione organica. I bioclasti sono di dimensioni millimetriche, sporadicamente si rilevano gusci di bivalvi fino a 4 – 5 mm. A varie altezze si intercalano livelli decimetrici (potenti fino a 40 cm) di arenarie fossilifere, grigio-biancastre, a consistenza litoide.

Durante il sondaggio S1:

- sono state eseguite n. 2 prove S.P.T. alle profondità rispettive di 2,00 m e 21,0 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni indisturbati:
 - S1CI1, alla profondità di 5,20 m dal p.c.;
 - S1CI2, alla profondità di 22,45 m dal p.c.;
- e n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S1CR1, alla profondità di 10,40 m dal p.c.;
 - S1CR2, alla profondità di 16,45 m dal p.c.

Sondaggio S02

Da m 0,00 a m 1,10:	materiale di riporto.
Da m 1,10 a m 8,80:	calcareniti organogene ben diagenizzate, fratturate, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici esposte. Nella parte alta si intercalano livelli decimetrici di sabbie organogene, talvolta con breccie calcarenitiche. Il passaggio alla formazione sottostante è graduale e avviene attraverso un'alternanza decimetrica di calcareniti e marne sabbiose grigiastre (tra 8,40 m e 8,80 m dal p.c.)
Da m 8,80 a m 30,00:	marne siltose da sabbiose a con sabbia, da consistenti a fortemente consistenti, grigiastre,

maleodoranti per la presenza di frazione organica. I bioclasti sono di dimensioni millimetriche, sporadicamente si rilevano gusci di bivalvi fino a 4 – 5 mm. A varie altezze si intercalano livelli decimetrici (potenti fino a 50 cm) di arenarie fossilifere, grigio-biancastre, a consistenza litoide.

Durante il sondaggio S2:

- sono state eseguite n. 2 prove S.P.T. alle profondità rispettive di 1,60 m e 19,0 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni indisturbati:
 - S2CI1, alla profondità di 5,30 m dal p.c.;
 - S2CI2, alla profondità di 17,15m dal p.c.;
- e n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S2CR1, alla profondità di 11,70 m dal p.c.;
 - S2CR2, alla profondità di 18,50 m dal p.c.

Sondaggio S03

- Da m 0,00 a m 1,60: materiale di riporto.
- Da m 1,60 a m 5,40: calcareniti organogene ben diagenizzate, fratturate, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici esposte.
Si intercalano livelli subordinati di sabbie organogene giallastre di spessore massimo di 20 cm.
- Da m 5,40 a m 20,00: marne siltose da sabbiose a con sabbia, da consistenti a fortemente consistenti, grigiastre, maleodoranti per la presenza di frazione organica. I bioclasti sono di dimensioni millimetriche, sporadicamente si rilevano gusci di bivalvi fino a 4 – 5 mm. A varie altezze si intercalano livelli decimetrici (potenti fino a 30 cm) di arenarie fossilifere, grigio-biancastre, a consistenza litoide.

Durante il sondaggio S3:

- sono state eseguite n. 2 prove S.P.T. alle profondità rispettive di 1,40 m e 8,0 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni indisturbati:
 - S3CI1, alla profondità di 9,30 m dal p.c.;
 - S3CI2, alla profondità di 17,50 m dal p.c.;
- e n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S3CR1, alla profondità di 1,00 m dal p.c.;
 - S3CR2, alla profondità di 13,45 m dal p.c.

Sondaggio S04

Da m 0,00 a m 1,40:	materiale di riporto.
Da m 1,40 a m 4,20:	calcareniti organogene ben diagenizzate, fratturate, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici esposte. Si intercalano livelli subordinati di sabbie organogene giallastre di spessore massimo di 20 cm. Il passaggio graduale alla formazione sottostante avviene attraverso un orizzonte basale di arenarie e marne grigiastre in alternanza.
Da m 4,20 a m 20,00:	marne siltose da sabbiose a con sabbia, da consistenti a fortemente consistenti, grigiastre, maleodoranti per la presenza di frazione organica. I bioclasti sono di dimensioni millimetriche, sporadicamente si rilevano gusci di bivalvi fino a 4 – 5 mm. A varie altezze si intercalano livelli decimetrici (potenti fino a 30 cm) di arenarie fossilifere, grigio-biancastre, a consistenza litoide.

Durante il sondaggio S4:

- sono state eseguite n. 2 prove S.P.T. alle profondità rispettive di 1,00 m e 16,0 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni indisturbati:
 - S4CI1, alla profondità di 6,50 m dal p.c.;
 - S4CI2, alla profondità di 16,40 m dal p.c.;
- e n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S4CR1, alla profondità di 12,30 m dal p.c.;
 - S4CR2, alla profondità di 15,00 m dal p.c.

Sondaggio S05

Da m 0,00 a m 1,00:	limi-sabbiosi con breccie calcarenitiche piccole sparse di colore bruno-tabacco.
Da m 1,00 a m 4,00:	sabbie-limose e limi sabbiosi, di colore marroncino e avana, con breccie calcarenitiche di dimensioni fino a 3 cm, poco addensate e poco consistenti. Alla base trovante calcarenitico di dimensioni decimetriche.
Da m 4,00 a m 6,90:	sabbie medio-fini e sabbie-limose, di colore dall'avana al giallo ocreo, moderatamente addensate, in facies alternata. Si rilevano breccie sparse di natura calcarenitica, con generale aumento del diametro e della frequenza verso il basso.
Da m 6,90 a m 19,10:	calcarei arenacei con bioclasti di dimensioni millimetriche, a grana medio-fine, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici

esposte, ben diagenizzate. Si presentano fratturati e spesso alternati a livelli subordinati di sabbie giallo-ocracee.

Spesso si rilevano patine di calcite depositate sulle superfici delle fratture, testimonianza dei flussi idrici sotterranei.

Nella parte basale (16,50 – 19,00 m dal p.c.) calcareniti e arenarie giallastre e grigio-nerastre in alternanza a bande marnose grigiastre, in tipica facies di transizione con la formazione sottostante.

Da m 19,10 a m 30,00: marne siltose da sabbiose a con sabbia, da consistenti a fortemente consistenti, grigiastre, maleodoranti per la presenza di frazione organica. I bioclasti sono di dimensioni millimetriche, sporadicamente si rilevano gusci di bivalvi fino a 4 – 5 mm. A varie altezze si intercalano livelli decimetrici (potenti fino a 30 cm) di arenarie fossilifere, grigio-biancastre, a consistenza litoide.

Durante il sondaggio S5 non sono stati prelevati campioni di terreno e, alla fine della perforazione, il foro di sondaggio è stato attrezzato con tubo aperto in PVC da 3" per l'esecuzione di una prospezione sismica in foro del tipo "Down-Hole".

Sondaggio S06

Da m 0,00 a m 7,50: sabbie fini di colore dal biancastro al giallino.

Da m 7,50 a m 25,00: calcareniti organogene a consistenza litoide, fratturate, di colore giallastro; si intercalano pochi livelli decimetrici di sabbie giallastre.

Da m 25,00 a m 60,00: marne siltose con percentuale variabile di sabbia, maleodoranti per la presenza di frazione organica, grigiastre. I bioclasti sono di dimensioni millimetriche, sporadicamente si rilevano gusci di bivalvi fino a 4 – 5 mm.

Si rilevano intercalazioni di pochi livelli decimetrici di arenarie grigio-biancastre, a consistenza litoide.

Durante il sondaggio S6 non sono stati prelevati campioni di terreno e alla fine della perforazione il foro di sondaggio è stato attrezzato con tubo aperto in PVC da 4" per l'installazione di un piezometro.

Sondaggio S07

Da m 0,00 a m 18,00: calcareniti giallastre con intercalazioni decimetriche di sabbie giallastre.

Da m 18,00 a m 40,00: marne siltose con percentuale variabile di sabbia, maleodoranti per la presenza di frazione organica, grigiastre. I bioclasti sono di dimensioni millimetriche, sporadicamente si rilevano gusci di bivalvi fino a 4 – 5 mm.
Si rilevano intercalazioni di biocalcareni tra 29,50 m e 30,50 m dal p.c. e pochi livelli decimetrici di arenarie grigio-biancastre.

Durante il sondaggio S7 non sono stati prelevati campioni di terreno e alla fine della perforazione il foro di sondaggio è stato attrezzato con tubo aperto in PVC da 4" per l'istallazione di un piezometro.

Sondaggio S08

Da m 0,00 a m 12,50: calcareniti giallastre con intercalazioni decimetriche di sabbie giallastre.
Si rileva alla base della formazione un livello molto spesso di sabbie (tra 10,00 m e 11,00 m dal p.c.).

Da m 12,50 a m 40,00: marne siltose con percentuale variabile di sabbia, maleodoranti per la presenza di frazione organica, grigiastre. I bioclasti sono di dimensioni millimetriche, sporadicamente si rilevano gusci di bivalvi fino a 4 – 5 mm.

Durante il sondaggio S8 non sono stati prelevati campioni di terreno e alla fine della perforazione il foro di sondaggio è stato attrezzato con tubo aperto in PVC da 4" per l'istallazione di un piezometro.

Sondaggio S09

Da m 0,00 a m 2,00: brecce di gessi, gessareniti e calcareniti in matrice limo-sabbiosa, di colore dal bruno al grigio chiaro.

Da m 2,00 a m 3,10: scarti di calcestruzzo.

Da m 3,10 a m 5,00: sabbie giallastre e rossastre, da debolmente limose a limose.

Da m 5,00 a m 25,30: depositi di limi-sabbiosi e sabbie-limose, di colore variabile dal grigio-azzurro, dove prevale la componente fine, al giallastro dove prevale la frazione sabbiosa.
Si rilevano trovanti calcarenitici sparsi.

Da m 25,30 a m 28,40: blocchi calcarenitici di pezzatura variabile (fino ai 20 cm) in matrice limo-sabbiosa, di colore dal grigio-azzurro al brunastro.

Da m 28,40 a m 29,50:	limi-sabbiosi con brecce calcarenitiche sparse piccole, di colore bruno tabacco.
Da m 29,50 a m 29,30:	sabbie ocracee con blocchi calcarenitici, in facies alterata.

Durante il sondaggio S9:

- sono state eseguite n. 2 prove S.P.T. alle profondità rispettive di 5,45 m e 8,45 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S9CR1, alla profondità di 19,30 m dal p.c.;
 - S9CR2, alla profondità di 23,50 m dal p.c.

Sondaggio S10

Da m 0,00 a m 4,50:	prevalenza di sabbie-limose e limi-sabbiosi di colore dal bruno al grigio, con intercalazioni di pochi orizzonti decimetrici a matrice argillosa.
Da m 4,50 a m 8,00:	sabbie di colore ocraceo con brecce medio-piccole calcarenitiche; nella parte medio-bassa si rilevano blocchi calcarenitici e arenitici di dimensioni fino a 10 cm.
Da m 8,00 a m 10,00:	limi da debolmente sabbiosi a sabbiosi di colore bruno con brecce arenitiche di dimensioni fino a 10 cm; si rilevano scarti di nastro b/r in polietilene a 9,30 m dal p.c.
Da m 10,00 a m 12,30:	sabbie di colore ocraceo con brecce e blocchi calcarenitici di dimensioni fino a 20 cm.
Da m 12,30 a m 14,80:	prevalenza di limi-sabbiosi di colore dal grigiastro al brunastro, con frequenti brecce di calcareniti e arenarie di dimensioni varie (fino a 20 cm).
Da m 14,80 a m 20,00:	sabbie da limose a con limo, di colore dall'avana al bruno chiaro; si rilevano rari ciottoli arenitici di dimensione massima di 40 cm.

Durante il sondaggio S10:

- sono state eseguite n. 1 prova S.P.T. alla profondità di 1,30 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S10CR1, alla profondità di 13,00 m dal p.c.;
 - S10CR2, alla profondità di 16,15 m dal p.c.

Sondaggio S11

- Da m 0,00 a m 5,70: sterili provenienti dall'impianto di flottazione. Si rilevano sali e subordinatamente argille.
- Da m 5,70 a m 15,00: sabbie medio-fini con percentuale variabile di limo, di colore dal giallastro all'avana, moderatamente addensate.
Il contenuto in fine tende a diminuire verso il basso. Si intercalano livelli decimetrici di biocalcareni (10,00 - 10,50 m dal p.c. e 14,60 - 15,00 m dal p.c.)

Durante il sondaggio S11:

- sono state eseguite n. 1 prova S.P.T. alla profondità di 3,00 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S11CR1, alla profondità di 1,20 m dal p.c.;
 - S11CR2, alla profondità di 11,50 m dal p.c.

Sondaggio S12

- Da m 0,00 a m 4,00: sterili provenienti dall'impianto di flottazione. Si rilevano sali e subordinatamente argille.
- Da m 4,00 a m 15,00: sabbie medio-fini organogene con percentuale variabile di limo, di colore dal giallastro all'avana, moderatamente addensate.
Il contenuto in fine tende a diminuire verso il basso. Si intercalano livelli decimetrici di biocalcareni (10,50 m - 11,00 dal p.c.).

Durante il sondaggio S12:

- sono state eseguite n. 1 prova S.P.T. alla profondità di 1,50 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S12CR1, alla profondità di 5,10 m dal p.c.;
 - S12CR2, alla profondità di 12,10 m dal p.c.

Sondaggio S13

- Da m 0,00 a m 5,00: sterili provenienti dall'impianto di flottazione. Oltre ad argille e sali, si evidenziano copertoni e chiodi tra 3,50 m e 3,70 m dal p.c., materiale tessile tra 1,60 m e 1,90 m dal p.c. e legname sparso.
- Da m 5,00 a m 7,60: limi-sabbiosi policromi, moderatamente consistenti, di colore dal giallastro al brunastro al grigiastro, con

immersi numerosi frammenti litici calcarenitici, frammenti conchigliari di dimensioni millimetriche e un trovante calcarenitico tra 6,40 m e 6,50 m dal p.c.

Da m 7,60 a m 8,00: limi-sabbiosi con breccie calcarenitiche piccole sparse, di colore bruno tabacco.

Da m 8,00 a m 10,00: sabbie medio-fini limose, di colore dall'avana al giallastro, da moderatamente addensate ad addensate, in facies alterata.
Si rilevano breccie sparse di natura calcarenitica, di dimensioni inferiori al centimetro; nella parte basale (9,30 m – 10,00 m dal p.c.) le breccie sono più abbondanti e di dimensioni maggiori (fini ai 40 mm).

Durante il sondaggio S13:

- sono state eseguite n. 1 prova S.P.T. alla profondità di 8,90 m dal p.c.;
- sono stati prelevati n. 2 campioni rimaneggiati:
 - S13CR1, alla profondità di 3,00 m dal p.c.;
 - S13CR2, alla profondità di 9,30 m dal p.c.

6.1 Analisi e prove di laboratorio e interpretazione delle prove geotecniche in situ

Alla luce della campagna di indagini geognostiche e sulla base dei risultati delle analisi e prove di laboratorio geotecnico sono stati riconosciuti tre orizzonti geotecnici di riferimento, omogenei per comportamento meccanico:

Orizzonte A – depositi antropici derivanti dalle lavorazioni industriali comprendenti sterili provenienti dall'impianto di flottazione, originati dalla raffinazione dei prodotti estratti, e prodotti di escavazione di pozzi e gallerie minerarie.

Tale orizzonte stratigrafico rappresenta la discarica mineraria, posta subito a nord dell'agglomerato industriale. Lo spessore dell'abbancamento varia da circa 4,20 - 7,60 m, riconosciuto in corrispondenza dei sondaggi S11, S12 e S13 (discarica lato monte), a 14,80 – 28,40 m, riconosciuto in corrispondenza dei sondaggi S9 e S10 (discarica lato valle).

All'interno di questo orizzonte stratigrafico sono state effettuate prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Rimandando alle certificazioni allegate, si riportano a seguire in tabella i dati di sintesi dei risultati delle analisi e prove eseguite.

Tali dati sono integrati con i risultati delle prove SPT eseguite in situ durante le perforazioni; la presenza nell'abbancamento di inclusi litoidi eterogenei ed eterometrici nonché la trasformazione di parte dello stesso abbancamento in un ammasso a consistenza litoide, a causa dei processi di dissoluzione e successiva riprecipitazione dei depositi salini presenti al suo interno, per opera delle acque di infiltrazione meteorica, giustifica il risultato "a rifiuto" delle prove S11-SPT1 e S12-SPT1.

Campioni	Profondità (m)	Contenuto naturale d'acqua (Wn - %)	Peso dell'Unità di Volume (γ - kN/m ³)	Limite di liquidità (WL - %)	Limite di plasticità (Wp - %)	Coesione drenata (c' - kPa)	Angolo di Attrito interno (ϕ - °)	Coesione non drenata (cu - kN/m ²)
S9CR1	19,30	17,69	20,13	38,10	21,85	nd	nd	nd
S9CR2	23,50	16,12	20,58	27,00	18,00	nd	nd	nd
S10CR1	13,00	13,48	19,47	27,70	16,30	nd	nd	nd
S11CR1	1,20	12,46	20,10	nd	nd	nd	nd	nd
S13CR1	3,00	24,81	18,99	38,00	30,10	nd	nd	nd

Prova SPT	Profondità	Nspt	Angolo di Attrito interno (ϕ - °)	Classificazione AGI	Modulo edometrico (Kg/cm ²)
S9-SPT1	5,50	12	31,36	Moderatamente addensato	52,11
S9-SPT2	8,45	21	33,88	Moderatamente addensato	70,60
S10-SPT1	1,30	8	30,24	Poco addensato	43,90
S11-SPT1	3,00	R	nd	-	-
S12-SPT1	1,50	R	nd	-	-

Orizzonte B – calcareniti organogene fratturate con bioclasti di dimensioni millimetriche, a grana medio-fine, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici esposte, intercalate ed in eteropia con sabbie medio-fini organogene con percentuali variabili di limo, di colore dal giallastro all'avana, moderatamente addensate.

Tale orizzonte stratigrafico corrisponde alle "Calcareniti di Capodarso" che affiorano diffusamente nell'area in cui sorge l'agglomerato industriale di Pasquasia. La tessitura della roccia litoide non permette una facile infiltrazione delle acque di origine meteorica nell'ammasso roccioso che, pertanto presenta una permeabilità primaria per porosità medio-bassa (vedi prove di permeabilità nell'allegato *report delle indagini geognostiche*) e una permeabilità secondaria per fratturazione elevata, che genera diverse famiglie di discontinuità meccanica (vedi risultati rilievo televisivo nei fori S1 e S8 nell'allegato *report delle indagini geognostiche*).

All'interno di questo orizzonte stratigrafico sono state effettuate prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Rimandando alle certificazioni allegate, si riportano a seguire in tabella i dati di sintesi dei risultati delle analisi e prove eseguite.

Tali dati sono integrati con i risultati delle prove SPT eseguite in situ durante le perforazioni.

- *Facies litoide (calcareniti organogene)*

Campioni	Profondità (m)	Peso dell'Unità di Volume (γ - kN/m ³)	Resistenza a compressione (MPa)
S1C11	5,20	24,09	30,43
S2C11	5,30	24,50	29,12

Prova SPT	Profondità	Nspt	Coesione non drenata (Cu - Kn/m ²)	Classificazione AGI	Modulo edometrico (Kg/cm ²)
S1-SPT1	2,00	R	nd	-	nd
S2-SPT1	1,70	R	nd	-	nd

- *Facies incoerente (sabbie sciolte)*

Campioni	Profondità (m)	Contenuto naturale d'acqua (Wn - %)	Peso dell'Unità di Volume (γ - kN/m ³)	Limite di liquidità (WL - %)	Limite di plasticità (Wp - %)	Coesione drenata (c' - kPa)	Angolo di Attrito interno (ϕ - °)	Coesione non drenata (cu - kN/m ²)
S13CR2	9,30	11,13	19,12	nd	nd	0,00*	28 - 29*	-

(*) dati bibliografici

Prova SPT	Profondità	Nspt	Angolo di attrito interno ($\phi - ^\circ$)	Classificazione AGI	Modulo edometrico (Kg/cm ²)
S13-SPT1	8,90	R	nd	-	nd

Orizzonte C – marne siltose grigiastre, da consistenti a fortemente consistenti, da sabbiose a con sabbia.

Corrisponde al substrato in posto e dallo spessore indefinito delle "Marne di Enna" che affiorano a nord dell'agglomerato industriale di Pasquasia ma che sono state intercettate nel sottosuolo nel corso delle perforazioni meccaniche. La tessitura della roccia non permette una facile infiltrazione delle acque di origine meteorica nell'ammasso roccioso che, pertanto presenta una permeabilità primaria per porosità bassa (vedi prove di permeabilità nell'allegato *report delle indagini geognostiche*)

All'interno di questo orizzonte stratigrafico sono state effettuate prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Rimandando alle certificazioni allegate, si riportano a seguire in tabella i dati di sintesi dei risultati delle analisi e prove eseguite.

Tali dati sono integrati con i risultati delle prove SPT eseguite in situ durante le perforazioni; l'elevata consistenza di tale litotipo giustifica i risultati "a rifiuto" ottenuti nel corso delle prove.

Campioni	Profondità (m)	Contenuto naturale d'acqua (Wn - %)	Peso dell'Unità di Volume ($\gamma - \text{kN/m}^3$)	Limite di liquidità (WL - %)	Limite di plasticità (Wp - %)	Coesione drenata (c' - kPa)	Angolo di Attrito interno ($\phi - ^\circ$)	Coesione non drenata (cu - MPa)
S1C12	22,45	nd	20,33	nd	nd	49	30	2,28
S1CR1	10,40	10,18	21,18	32,50	20,10	nd	nd	nd
S1CR2	16,55	8,04	22,20	38,00	22,00	nd	nd	nd
S2C12	17,15	nd	20,02	nd	nd	nd	nd	14,56
S2CR1	11,70	16,30	20,30	36,50	22,19	nd	nd	nd
S2CR2	18,50	14,77	19,35	33,00	22,00	nd	nd	nd
S3C11	9,30	nd	20,82	nd	nd	65	31	6,41
S3C12	17,50	nd	21,09	nd	nd	70	30	7,02
S3CR2	13,45	15,28	20,85	37,60	24,35	nd	nd	nd
S4C11	6,50	nd	19,82	nd	nd	53	31	4,77
S4C12	16,40	nd	19,92	nd	nd	59	29	5,44
S4CR1	12,30	16,40	19,89	35,10	21,26	nd	nd	nd
S4CR2	15,00	12,14	19,88	34,00	21,16	nd	nd	nd

Prova SPT	Profondità (m)	Nspt	Coesione non drenata (Cu – kN/m ²)	Classificazione AGI	Modulo edometrico (Kg/cm ²)
S1-SPT2	21,00	R	-	-	-
S2-SPT2	19,00	R	-	-	-
S3-SPT2	8,00	R	-	-	-
S4-SPT2	16,00	R	-	-	-

7. RISULTANZE DELLE PROSPEZIONI GEOFISICHE

La campagna di indagini geognostiche è stata completata con una prospezione sismica MASW ed una prospezione sismica in foro del tipo "Down-Hole".

La prospezione sismica MASW è stata eseguita, con il sismografo MAE A6000S, materializzando sul terreno, una traversa sismica di lunghezza pari a 34,5 m.

Sulla base del modello geologico-geotecnico esposto nel paragrafo precedente è stato elaborato un modello sismostratigrafico locale al fine di una migliore interpretazione del diagramma velocità di fase/frequenza, ottenuto dall'analisi spettrale dei sismogrammi.

Tutto ciò con lo scopo di:

- individuare la curva di dispersione delle onde superficiali di Rayleigh che, tenendo conto del modello geologico prima citato, meglio si adattasse all'area a maggiore energia del diagramma spettrale;
- definire il profilo sismostratigrafico, in termini di propagazione delle onde V_s , dell'area di sedime delle opere da realizzare.

La stratigrafia derivante dalle elaborazioni condotte (fig. 12 nel rapporto indagini geognostiche), corrispondente al punto medio della traversa sismica materializzata sul terreno, può essere correlata con i dati litostratigrafici delle perforazioni meccaniche:

- i primi sei orizzonti sismostratigrafici, caratterizzati da alte velocità di propagazione delle onde di taglio, possono essere associati alle "Calcareniti di Capodarso" (orizzonte B), la cui variabilità intraformazionale, originata da un'alternanza di orizzonti a consistenza litoide e variamente fratturati con orizzonti incoerenti, giustifica le velocità di propagazione delle onde di taglio ottenute;
- gli ultimi quattro orizzonti sismostratigrafici, caratterizzati da una velocità di propagazione delle onde di taglio che via via aumenta fino agli strati più profondi, corrispondono verosimilmente alla "Marne di Enna", che con la profondità e il carico citostatico passano da uno stato molto consistente a fortemente consistenti (orizzonte stratigrafico C).

La prospezione sismica "Down-Hole" è stata eseguita all'interno del foro di sondaggio S5, un centinaio di metri più a valle rispetto alla prospezione MASW.

I risultati ottenuti sono correlabili con la stratigrafia della perforazione S5; infatti, è possibile riconoscere:

- un primo orizzonte sismostratigrafico, riscontrato fino alla profondità di 4,2 m dal p.c. e caratterizzato da una velocità media delle onde P di 342 m/s e delle onde S di 233 m/s, corrisponde verosimilmente alle sabbie poco o mediamente addensate e poco consistenti riscontrate nel corso della perforazione meccanica S5;
- un secondo orizzonte sismostratigrafico, avente uno spessore di circa 14 m e caratterizzato da una velocità media delle onde P di 1.282 m/s e delle onde S di 792 m/s, corrisponde verosimilmente alle calcareniti organogene fratturate riscontrate nel corso della perforazione meccanica S5;
- un terzo orizzonte sismostratigrafico profondo, caratterizzato da una velocità media delle onde P di 2.717 m/s e delle onde S di 1.538 m/s, corrisponde verosimilmente alle marne siltose da sabbiose a con sabbia, da consistenti a fortemente consistenti che rappresentano il substrato profondo dell'area in esame.

Il Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque tipologie di suoli (A - B - C - D - E) più altri due speciali (S1 e S2), da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio pesate sui primi 30 metri di terreno (V_{s30}).

In particolare, nell'area di progetto il valore medio delle onde di taglio per i primi 30 m di profondità (V_{s30}), ottenuto dalla prospezione MASW risulta pari a $V_{s30} = 826$ m/s, collocando i terreni oggetto dell'indagine nella categoria **A**, ovvero corrispondenti a *"Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m"*.

La prospezione sismica "Down-Hole", invece, eseguita più a valle rispetto alla prospezione MASW, dove maggiore risulta la percentuale della facies sabbiosa delle "Calcareniti di Capodarso", da come valore medio delle onde di taglio per i primi 30 m di profondità ($V_{s,30}$) una velocità di 695 m/s, collocando i terreni oggetto dell'indagine nella categoria **B**, ovvero corrispondenti a "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 e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

Per un ulteriore approfondimento sulle metodologie applicate e sui risultati ottenuti si rimanda al relativo allegato "Report indagini geognostiche".

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'elaborazione e l'approfondimento di tutti gli aspetti presi in considerazione ha permesso di potere definire le condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area in studio, con particolare attenzione all'area in cui è ubicata la discarica mineraria.

Su tale area, infatti, sono previsti diversi interventi di messa in sicurezza di emergenza atti a mitigare e/o impedire tutti fenomeni di contaminazione delle matrici ambientali suolo, sottosuolo, acque superficiali e sotterranee, che attualmente si registrano all'interno dell'agglomerato industriale di Pasquasia.

In sintesi:

- il sito di progetto si sviluppa lungo un versante esposto a sud e caratterizzato da una moderata acclività; la discarica mineraria occupa una superficie di circa 150.000 m² e ha modificato l'originaria orografia dei luoghi, riempiendo un'antica area valliva con conseguente deviazione dell'originario corso di due aste fluviali gerarchicamente giovani che confluiscono, qualche centinaio di metri più a ovest, nel Fiume Morello, affluente in sinistra idrografica del Fiume Imera Meridionale. I fronti della discarica sono caratterizzati da scarpate che, nel settore occidentale, raggiungono altezze fino a 30 m con pendenze molto elevate. Tale circostanza, nell'ambito della progettazione degli interventi di messa in sicurezza, impone una risagomatura dei fronti delle scarpate stesse così da ridurre altezze e pendenze.
- dal punto di vista morfologico, non sono stati individuati dissesti in atto o potenziali; tutti i fabbricati presenti all'interno del sito minerario dismesso di Pasquasia, e la stessa discarica mineraria, non presentano sistemi fessurativi indicativi di movimenti gravitativi e/o cedimenti del substrato di fondazione.

Tale circostanza trova conferma nel Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Imera Meridionale (072) - Area territoriale tra il Bacino Idrografico del Fiume Palma e il Bacino Idrografico del Fiume Imera Meridionale (071), adottato dalla Regione Siciliana con D.P.R. del 27.03.2007 e pubblicato sulla G.U.R.S. n. 25 del 01.06.2007 e successivi aggiornamenti.

Il P.A.I. non individua, infatti, nell'area in esame, e nelle zone ad essa adiacenti, condizioni di pericolosità e rischio connessi a dissesti di tipo geomorfologico e di tipo idraulico.

Però l'area della concessione mineraria è classificata quale "sito di attenzione" in quanto non viene esclusa la probabilità che si possano verificare, a seguito della dissoluzione del giacimento salino in sottosuolo, fenomeni di crollo, sprofondamenti o aprire voragini.

Le indagini geognostiche eseguite all'interno dell'area mineraria non hanno rilevato nel sottosuolo, sino alla profondità di 30 m dal p.c., corpi salini che potrebbero generare e innescare fenomeni di sprofondamento o l'apertura di voragini in superficie;

- geologicamente nella vasta area di progetto affiorano i litotipi post-evaporitici secondo una giacitura monoclinale. In particolare il sito di studio è caratterizzato dalla presenza di un esteso affioramento di calcareniti fossilifere giallastre, a tratti sottilmente stratificate passanti a sabbie sciolte o debolmente cementate ed in eteropia di facies con argille sabbiose, presenti nella zona meridionale dell'area mineraria.

La stratigrafia dell'area della discarica mineraria è stata ricostruita acquisendo i risultati di una campagna di indagini geognostiche che ha permesso di individuare tre orizzonti stratigrafici:

- un primo orizzonte superficiale è costituito dai materiali di riporto derivanti dalle attività minerarie;
 - un secondo orizzonte rappresentato dalle Calcareniti di Capodarso e costituisce il substrato dell'agglomerato industriale di Pasquasia;
 - un terzo orizzonte costituito dalle Marne di Enna che rappresenta il substrato profondo;
- dal punto di vista idrogeologico le caratteristiche di permeabilità nel sottosuolo genera condizioni favorevoli all'infiltrazione di parte delle acque di origine meteorica ed al loro potenziale accumulo in acquiferi sovrapposti agevolato dall'esistenza di contatti laterali e verticali fra argille e sabbie. In ogni caso, il controllo eseguito attraverso l'installazione di piezometri a tubo aperto ha permesso di escludere

l'assenza di una falda acquifera nell'ambito delle profondità investigate (60 m dal p.c.). Comunque, al fine di impedire l'infiltrazione di acque di origine meteorica contaminate dall'interazione con i materiali presenti nel corpo della discarica mineraria, è necessario prevedere interventi di isolamento idraulico;

- tali interventi devono essere altresì mirati alla regimazione dei deflussi idrici superficiali, che verranno convogliati attraverso un sistema di canali di raccolta secondari all'interno di un unico canale che converge nell'impluvio naturale confluyente nell'asta del F. Morello. Il calcolo della portata critica con un tempo di ritorno di 100 anni ha permesso di verificare come le dimensioni del canale di progetto siano compatibili con le massime portate attese.

Il Geologo
Dott. Eugenio Vecchio



ALLEGATI

STRALCIO COROGRAFICO
Tavoletta "Stazione di Imera" - F.° 268 - IV - SE
scala 1:25.000



LEGENDA

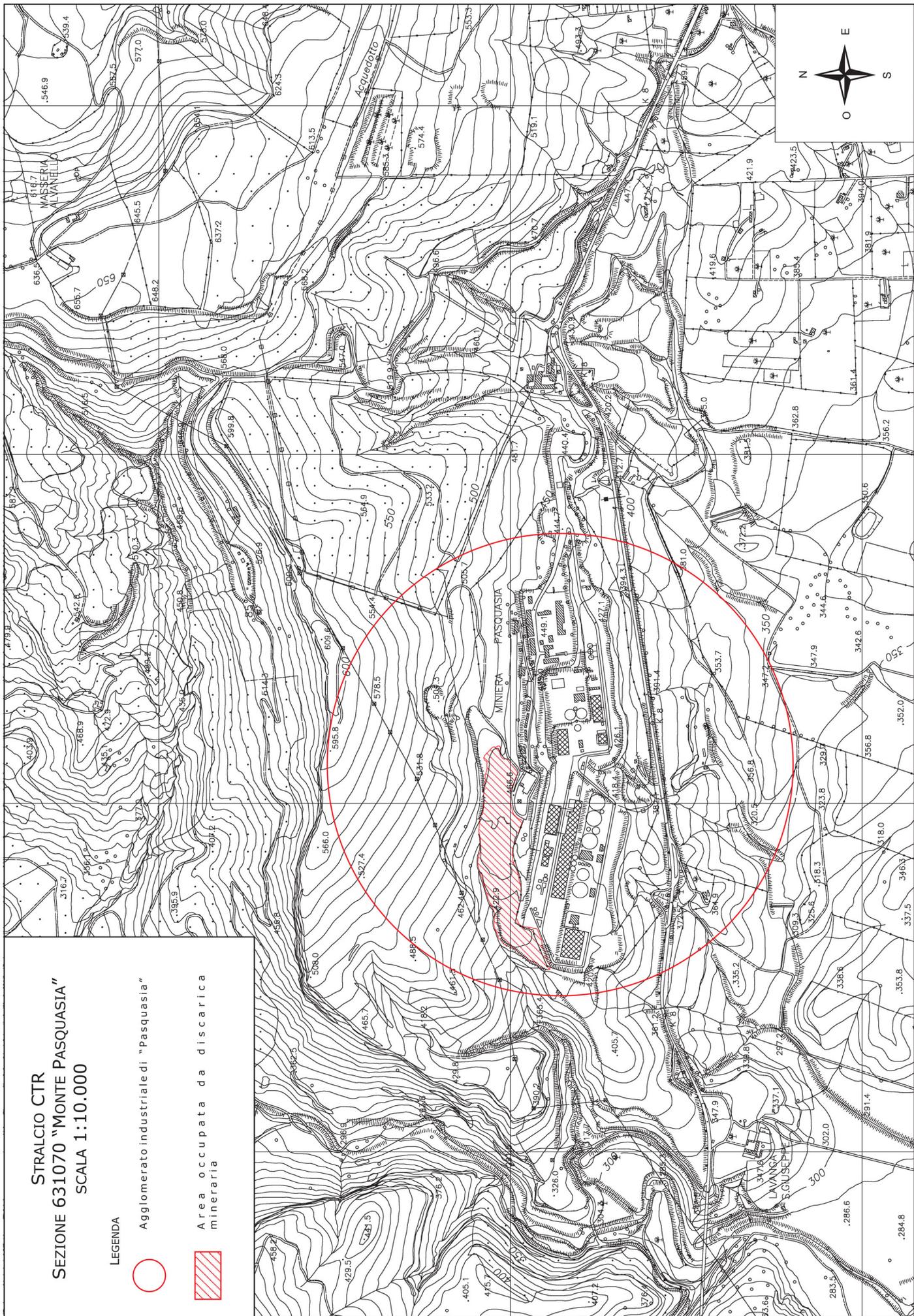
-  Agglomerato industriale di "Pasquasia"

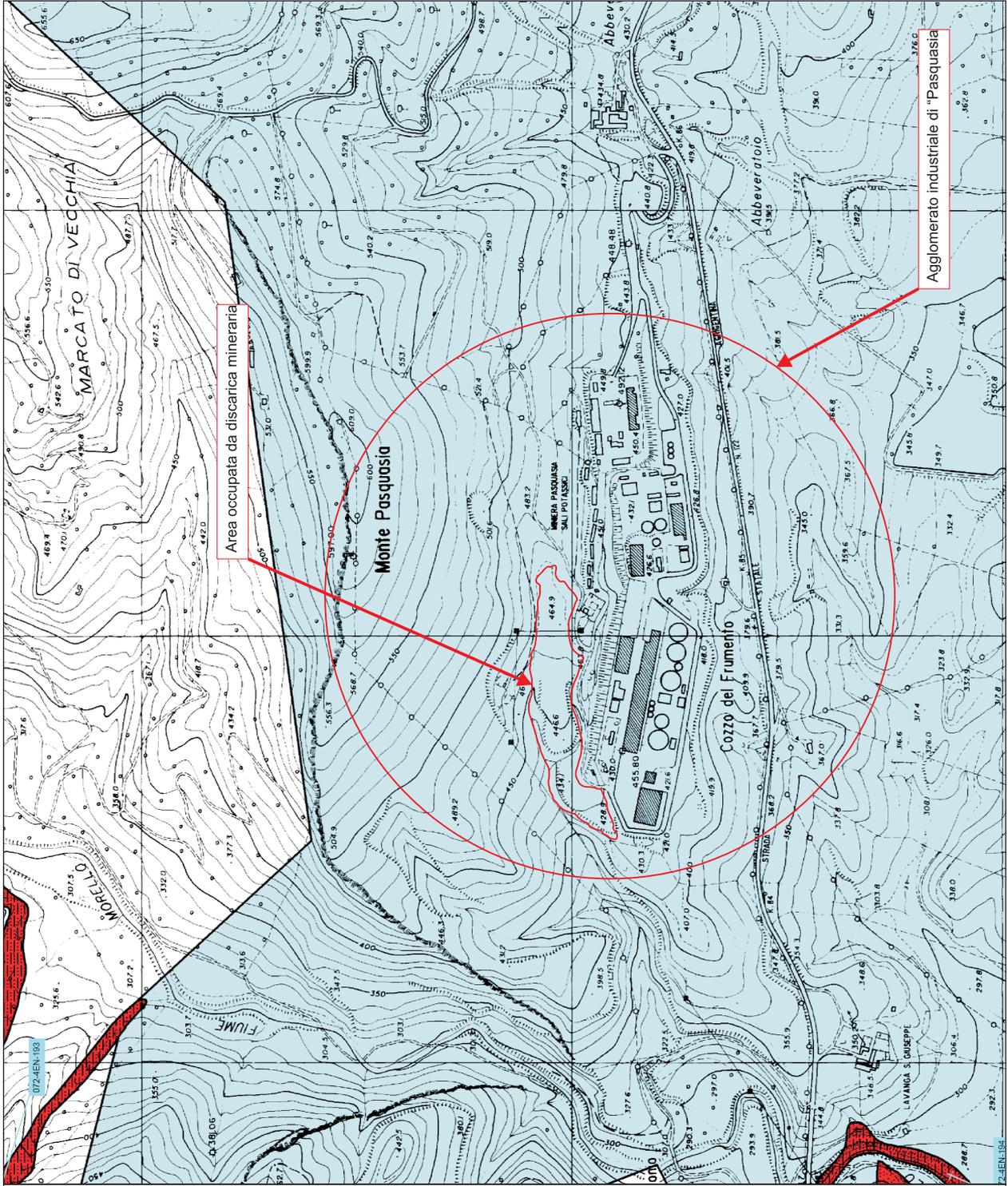
STRALCIO CTR
SEZIONE 631070 "MONTE PASQUASIA"
SCALA 1:10.000

LEGENDA

 Agglomerato industriali di "Pasquasia"

 Area occupata da discarica
mineraria





REPUBBLICA ITALIANA

Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio di Pianificazione del Territorio e del Suolo

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
Bacino Idrografico del F. Inera Meridionale (072)
Area territoriale tra il Bacino Idrografico del F. Palma e il Bacino Idrografico del F. Inera Meridionale (071)

MARTIN L. TORRE CONSULTOR GENERALE DELLA REGIONE SICILIANA

CARTA DEI DISSESTI N° 32

COMUNE DI PALMA
Scala 1:10.000

Anno 2005

LEGENDA

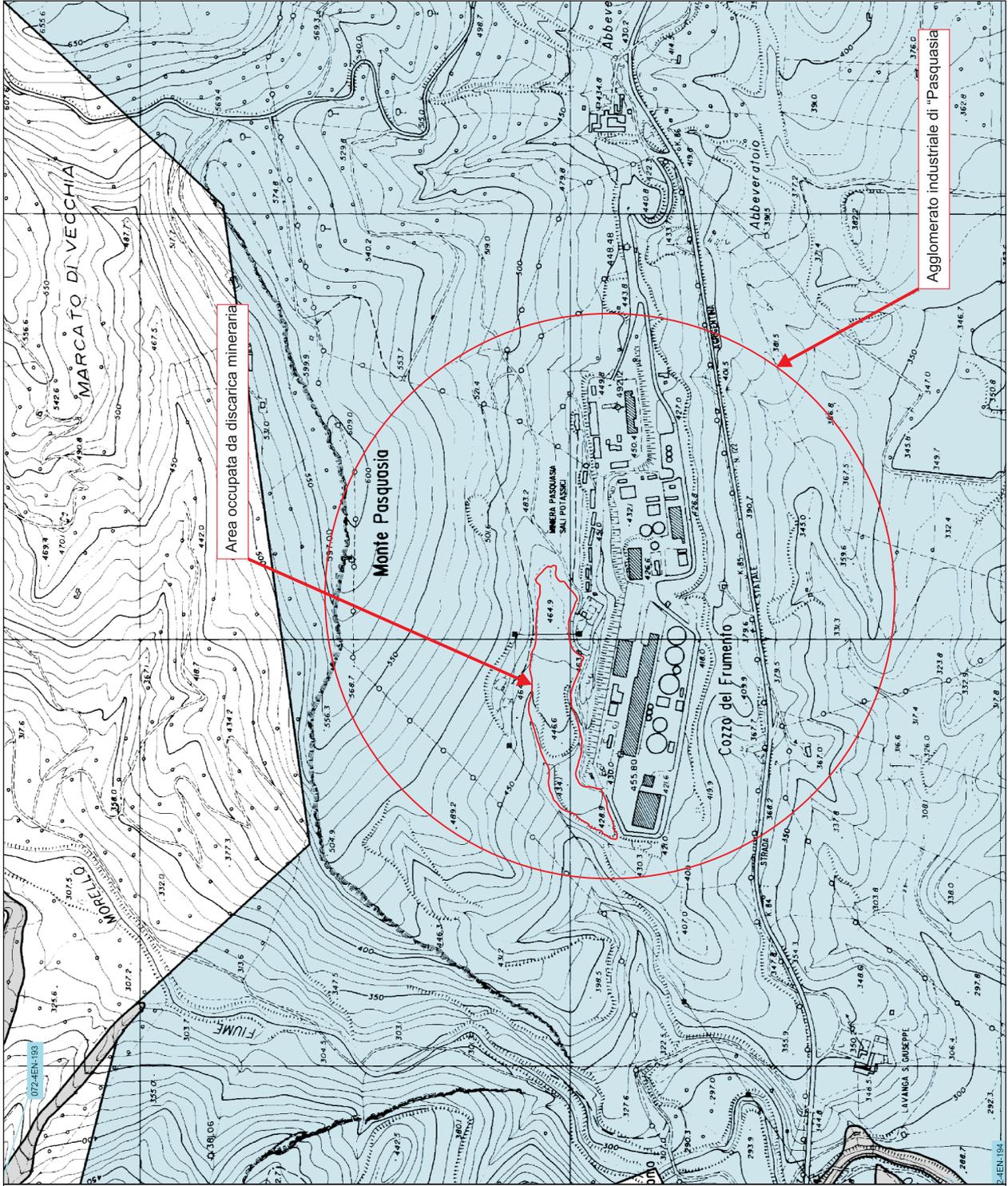
FENOMENI FRANOSI

- Crollo e/o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scorrimento
- Frena complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a franosità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calanco
- Dissesti dovuti ad erosione accelerata
- Sito d'attenzione

STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

Limite bacino idrografico
Limite dell'area intermedia
Limite comunale



REPUBBLICA ITALIANA

Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
Servizio "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
Bacino idrografico del F. Imera Meridionale (072)
Area territoriale tra il Bacino idrografico del F. Palma e il Bacino idrografico del F. Imera Meridionale (071)

CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 32
ENCLAVE DI PASQUASIA
Scala 1:10.000

Anno 2005

LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITA'

- P0 basso
- P1 moderato
- P2 medio
- P3 elevato
- P4 molto elevato
- Sito d'attenzione

LIVELLI DI RISCHIO

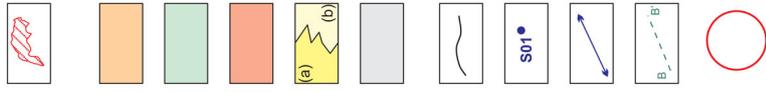
- R1 moderato
- R2 medio
- R3 elevato
- R4 molto elevato

Limite bacino idrografico
 Limite dell'area intermedia
 Limite comunale

MESSA IN SICUREZZA DEL SITO MINERARIO DISMESSO DI "PASQUASIA" IN TERRITORIO COMUNALE DI ENNA (EN)

CARTA GEOLOGICA
IN SCALA 1:10.000

LEGENDA



DISCARICA MINERARIA: depositi antropici derivanti dalle lavorazioni industriali componenti sterili provenienti dall'impianto di flottazione, originati dalla raffinazione dei prodotti estratti, e prodotti di escavazione di pozzi e gallerie minerarie

Attuale

DETRITO DI FALDA

Olocene

DEPOSITI ALLUVIONALI

Olocene

MARNE DI GERACELLO: marne-argillose talvolta sabbiose di colore giallastro passanti verso l'alto a sabbie gialle.

Pliocene superiore - Pleistocene superiore

CALCARENITI DI CAPODARSO: calcari arenacei conchigliari giallastri (a) con intercalazioni di sabbie sciolte (b)

Pliocene medio-superiore

MARNE DI ENNA: marne e marne-argillose di colore grigio-azzurro con frattura concorde con presenza, nella parte alta della formazione, di livelli sabbiosi e/o arenacei di modesto spessore.

Pliocene medio-inferiore

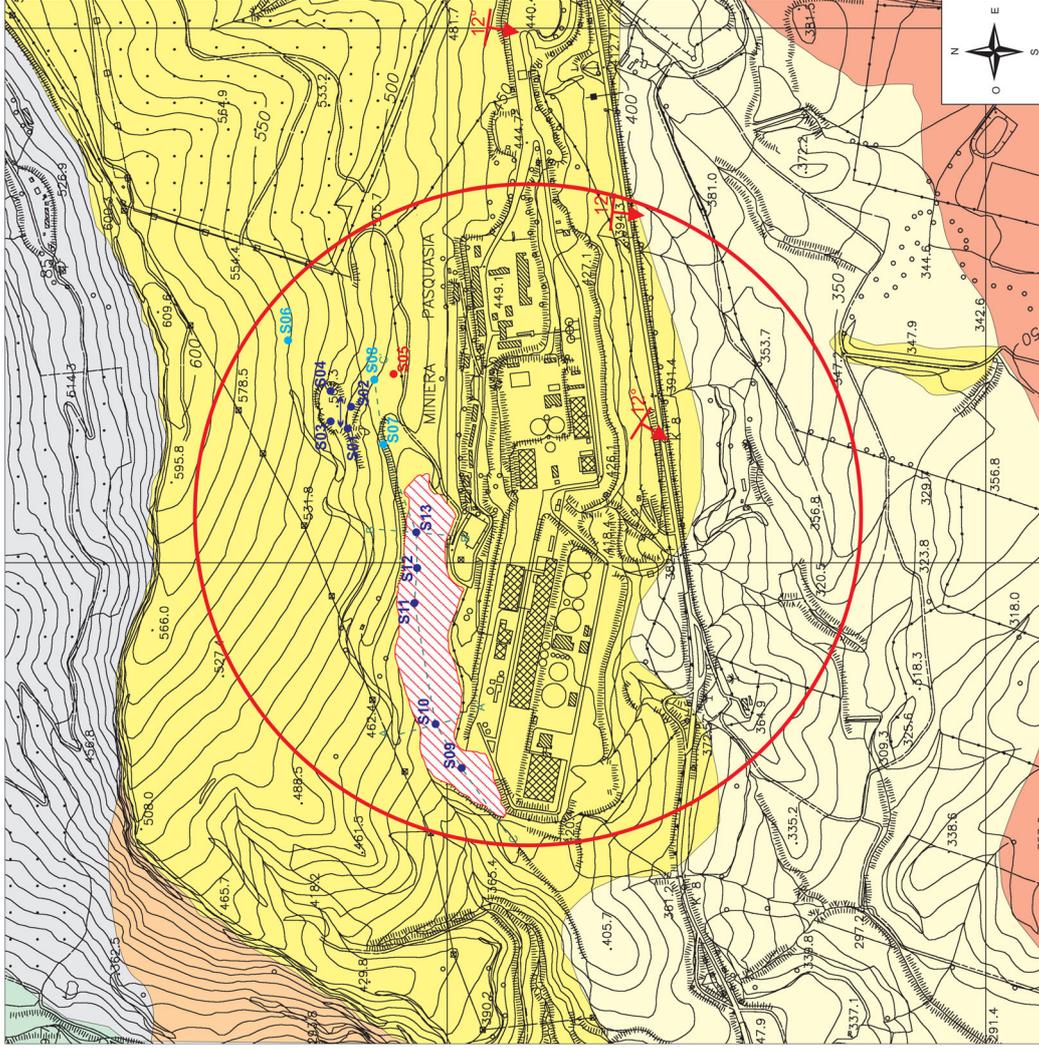
Confine stratigrafico

Perforazione a carotaggio continuo. In azzurro i fori attrezzati a piezometro e in rosso i fori attrezzati per prospezione sismica "Down-Hole"

Prospezione MASW effettuata su uno stendimento di lunghezza pari a 23 m

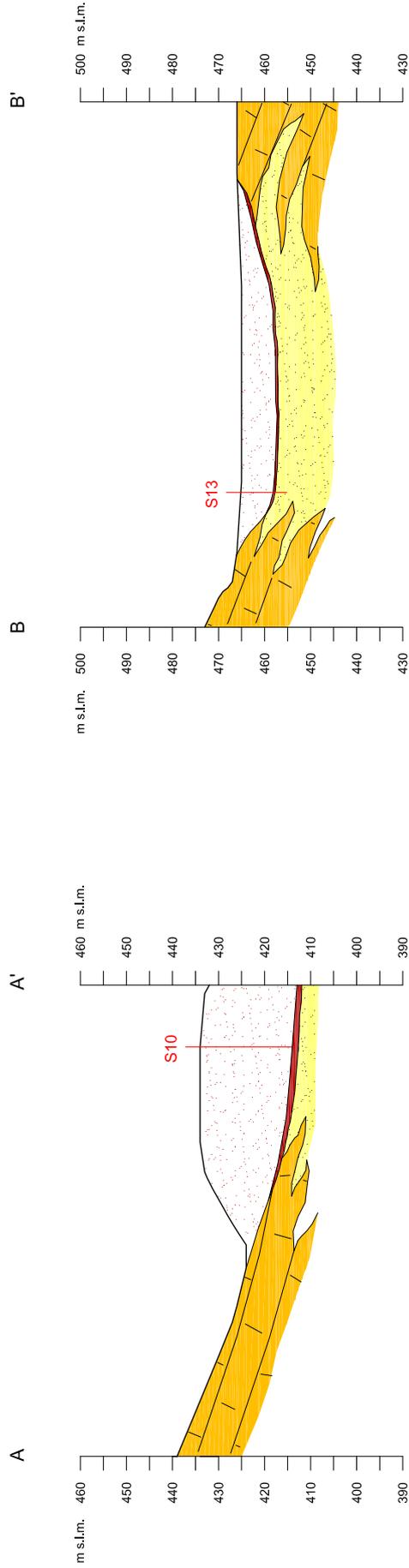
Traccia sezione litostatigrafica

Agglomerato industriale di "Pasquasia"



SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

SCALA 1:1.000



LEGENDA



Discarica mineraria costituita da sabbie con limo inglobanti frammenti litici eterogenei ed eterometrici.
Parametri geotecnici:
 $\gamma = 19,47 - 20,58 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0,00 \text{ kPa}$; $\phi' = 30,24^\circ - 33,68^\circ$

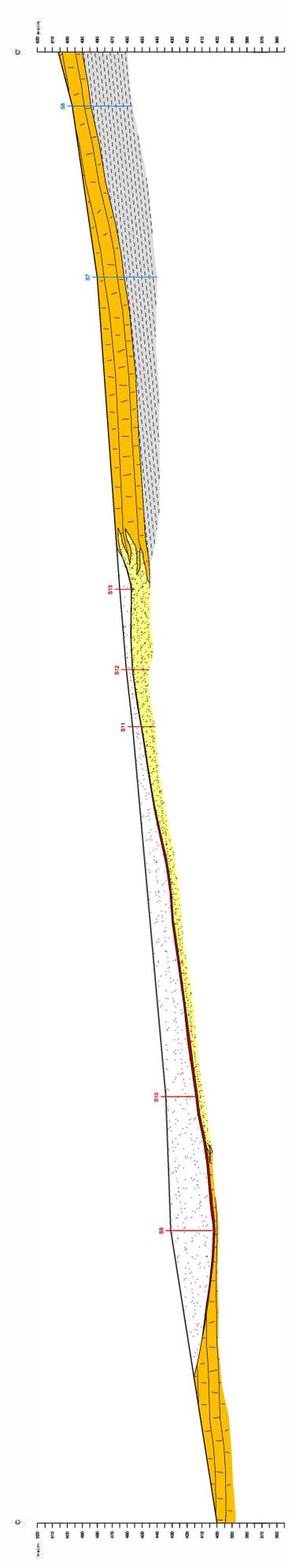


Limi-sabbiosi di colore bruno tabacco inglobanti frammenti litici a spigoli vivi di dimensioni variabili da qualche millimetro a qualche centimetro (paleosuolo).
Parametri geotecnici scadenti.



a) calcareniti organogene fratturate con blocchi di dimensioni millimetriche, a grana medio-fine, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici esposte, intercalate ed in eteropia con
 b) sabbie medio-fini organogene con percentuale variabile di limo, di colore dal giallastro all'avana, moderatamente addensate.
Parametri geotecnici:
 a) $\gamma = 24,09 - 24,50 \text{ kN/m}^3$; Resistenza a compressione = 29,12 - 30,43 MPa
 b) $\gamma = 17,88 - 19,12 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0,00 \text{ kPa}$; $\phi' = 28^\circ - 29^\circ$
 * dati bibliografici

SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA C-C'
 SCALA 1:2.000



LEGENDA

Calcinaie marnose, con noduli di ferro con noduli ferrugini lenti e soggetti ad ossidazione. Parametri geomeccanici: $\gamma = 19,47 - 20,29 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0,00 \text{ MPa}$; $\phi = 33,54^\circ - 33,58^\circ$

Limi-sabbiosi di colore bruno latticcio inglobanti frammenti lenti e soggetti ad ossidazione. Parametri geomeccanici: $\gamma = 17,68 - 18,12 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0,00 \text{ MPa}$; $\phi = 29^\circ - 29^\circ$

Calcinaie organogene frantumate con noduli di dimensioni millimetriche, a grana medio-fine, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici perpendicolari variabili di tipo, di colore al giallo al bruno, indolenzimento sistemato. Parametri geomeccanici: $\gamma = 24,08 - 24,50 \text{ kN/m}^3$; Resistenza a compressione = 20,12 - 30,41 MPa; $\phi = 17,68 - 18,12 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0,00 \text{ MPa}$; $\phi = 29^\circ - 29^\circ$

Calcinaie organogene frantumate con noduli di dimensioni millimetriche, a grana medio-fine, di colore grigiastro al taglio fresco e giallastro sulle superfici perpendicolari variabili di tipo, di colore al giallo al bruno, indolenzimento sistemato. Parametri geomeccanici: $\gamma = 24,08 - 24,50 \text{ kN/m}^3$; Resistenza a compressione = 20,12 - 30,41 MPa; $\phi = 17,68 - 18,12 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0,00 \text{ MPa}$; $\phi = 29^\circ - 29^\circ$

Marna latticcia grigiastro, da conchiglioni e fessurementati, da sabbiose a conchiglioni. Parametri geomeccanici: $\gamma = 19,35 - 24,50 \text{ kN/m}^3$; $c' = 49 - 79 \text{ MPa}$; $\phi = 29^\circ - 31^\circ$; $c_u = 2,28$; $\phi_u = 14,68 \text{ MPa}$