

COMUNE DI CELLINO SAN MARCO

PIANO URBANISTICO GENERALE

IL SINDACO

Salvatore De Luca

L'ASSESSORE ALL'URBANISTICA

Claudio Moncullo

PROGETTISTI

Arch. Vincenzo Panelli

Consulenti

Dott. Christian Napolitano
Dott. Guido Palma
Dott. Marcello De Donatis
Avv. Alberto Maria Durante

PREVISIONI STRUTTURALI/PROGRAMMATICHE

Relazione geologica

Tavola

R03

data	Maggio 2021
------	-------------

COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (Provincia di Brindisi)

COMMITTENTE: COMUNE DI CELLINO SAN MARCO
SETTORE URBANISTICA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGRAFICA, IDROGEOLOGICA, SISMICA,
GEOTECNICA E INDAGINI GEORADAR
PER L'ELABORAZIONE
DEL PIANO URBANISTICO GENRALE (PUG)
DEL COMUNE DI CELLINO SAN MARCO (BR)

Ruffano (LE), marzo 2020

GEOPROVE Srl
Via Il Giugno, 2
73049 RUFFANO (LE)
P.IVA 03940580750

I GEOLOGI

Dott. Geol. Marcello DE DONATIS
Ph.D Geol. Francesco FORTE

I COLLABORATORI
Dott. Geol. Biagio CIARDO
Dott. Manuel MANCA



INDICE

1. UBICAZIONE GEOGRAFICA E LINEAMENTI TOPOGRAFICI.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
2.1. Tettonica	4
2.2. Stratigrafia	5
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	10
4. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	11
5. CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ E SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO.....	12
6. IDROGEOLOGIA.....	17
6.1. Permeabilità dei litotipi affioranti.....	18
6.1.1. Terreni permeabili per porosità	19
6.1.2. Terreni permeabili per fratturazione, fessurazione e carsismo	20
6.1.3. Terreni impermeabili	20
7. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	21
8. CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE E GEOIDROLOGICHE.....	24
9. RAPPORTI TRA IL TERRITORIO DI CELLINO SAN MARCO E IL PIANO DI BACINO STRALCIO ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA PUGLIA	25
10. RAPPORTI TRA IL TERRITORIO DI CELLINO SAN MARCO E IL PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DELLA PUGLIA	27
11. RAPPORTI TRA IL TERRITORIO DI CELLINO SAN MARCO E IL PIANO PAESAGGISTICO TERRITORIALE REGIONALE DELLA PUGLIA.....	30
12. METODOLOGIA GEORADAR.....	32
12.1. La prospezione georadar (<i>Ground Penetrating Radar</i>).....	32
12.2. Schema di funzionamento.....	33
12.3. Taratura dei dati (velocità di propagazione)	34
13. RILIEVI GEORADAR ESEGUITI NEL NUCLEO DEL CENTRO URBANO	35
14. ISPEZIONE DIRETTA COMPIUTA IN DUE IPOGEI PRIVATI.....	42
15. IL GAS RADON	47
15.1. Origine	47
15.2. Effetti sull'uomo e sull'ambiente	47
15.3. Normativa di riferimento	47
15.4. La misura del radon	48
15.5. Il radon in Puglia	49
15.6. Il radon nel comune di Cellino San Marco	49
15.7. Prevenzione dal gas radon e tecniche di risanamento.....	51
15.8. Adozione di misure per la mitigazione del rischio da radon	51
15.9. Adempimenti per le nuove costruzioni	51
15.10. Adempimenti per gli edifici esistenti	52
16. CONCLUSIONI.....	54
17. BIBLIOGRAFIA DI PERTINENZA.....	57

1. UBICAZIONE GEOGRAFICA E LINEAMENTI TOPOGRAFICI

Cellino San Marco, sito in provincia di Brindisi, confina a Nord e a Ovest con il comune di Brindisi, a Est con il comune di San Pietro Vernotico, a Sud-Est con Squinzano, a Sud con Campi salentina, con San Dònaci e, per un breve tratto del limite amministrativo, con Guagnano. Il territorio cellinese, quindi, insieme con i comuni leccesi e brindisini confinanti, fa quasi da “sutura” tra la provincia di Lecce e quella di Brindisi collocandosi, in linea generale, nel quadrante sud-orientale del territorio brindisino.

Il territorio comunale occupa in parte il Foglio 203 “Brindisi” (lato Est) e, in parte, il Foglio 204 “Lecce” (lato Ovest), in scala 1:100000, della Carta Topografica d’Italia realizzata dall’Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI, 1947 – 1948). Più precisamente, il succitato territorio è rappresentato nelle seguenti Tavole topografiche dell’IGMI, in scala 1:25000 (Fig. 1), così denominate:

- 203 I Sud-Est “Tuturano”;
- 203 II Nord-Est “San Dònaci”;
- 204 III Nord-Ovest “Squinzano”;
- 204 IV Sud-Ovest “Stazione di Tuturano”.

Cellino San Marco occupa un territorio pressoché pianeggiante, ovvero lievemente ondulato, con quote altimetriche variabili da circa 50 m s.l.m. a poco più di 70 m s.l.m.

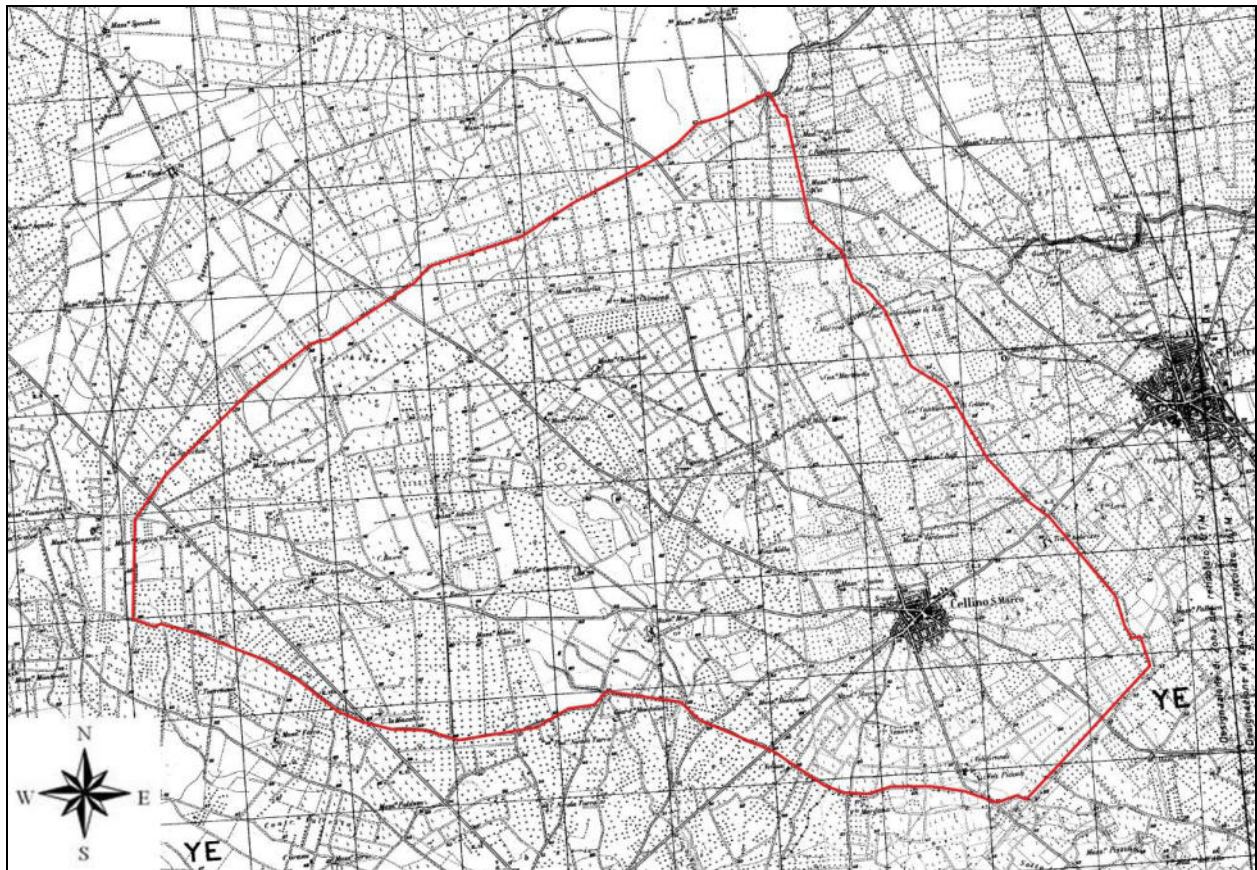


Fig. 1 – Ubicazione topografica del territorio di Cellino San Marco su Tavolette IGMI in scala 1:25000.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

2.1. Tettonica

Il territorio di Cellino San Marco ricade in parte nel Foglio Geologico 203 “Brindisi” e, in parte, nel Foglio 204 “Lecce”, in scala 1:100000, del Servizio Geologico Nazionale (Rossi, 1969). Esso è in prevalenza pianeggiante, con un limite strutturale allineato da Sud-Est a Sud-Ovest, corrente lungo il confine amministrativo con San Donaci, Campi salentina e Squinzano. Si tratta di una linea di faglia diretta che ha dislocato in basso il *graben* di Campi salentina e ha originato l’orlo morfologico e la relativa scarpata, denominati “Serra S. Elia”. Tale faglia o, meglio, sistema di faglie che immerge a Sud-Ovest ha dislocato il basamento cretacico calcareo - dolomitico, conferendo al paesaggio un aspetto a *horst* e *graben*; la parte sulla quale si estende l’abitato di Cellino San Marco si è sollevata e ha formato l’*horst*; l’altra parte si è ribassata generando un *graben* (Fig. 2). La paleofaglia, che segue con allineamento Sud-Est – Nord-Ovest il limite territoriale a Sud di Cellino, ha dato origine a un blando rilievo morfologico, la “Serra S. Elia”, avente una differenza di quota, al massimo, di 14 m tra la parte tettonica ribassata (quella leccese, nota in generale come *graben* di Campi salentina e quella rialzata che è definita localmente *horst* cellinese) (Elia, 2008).

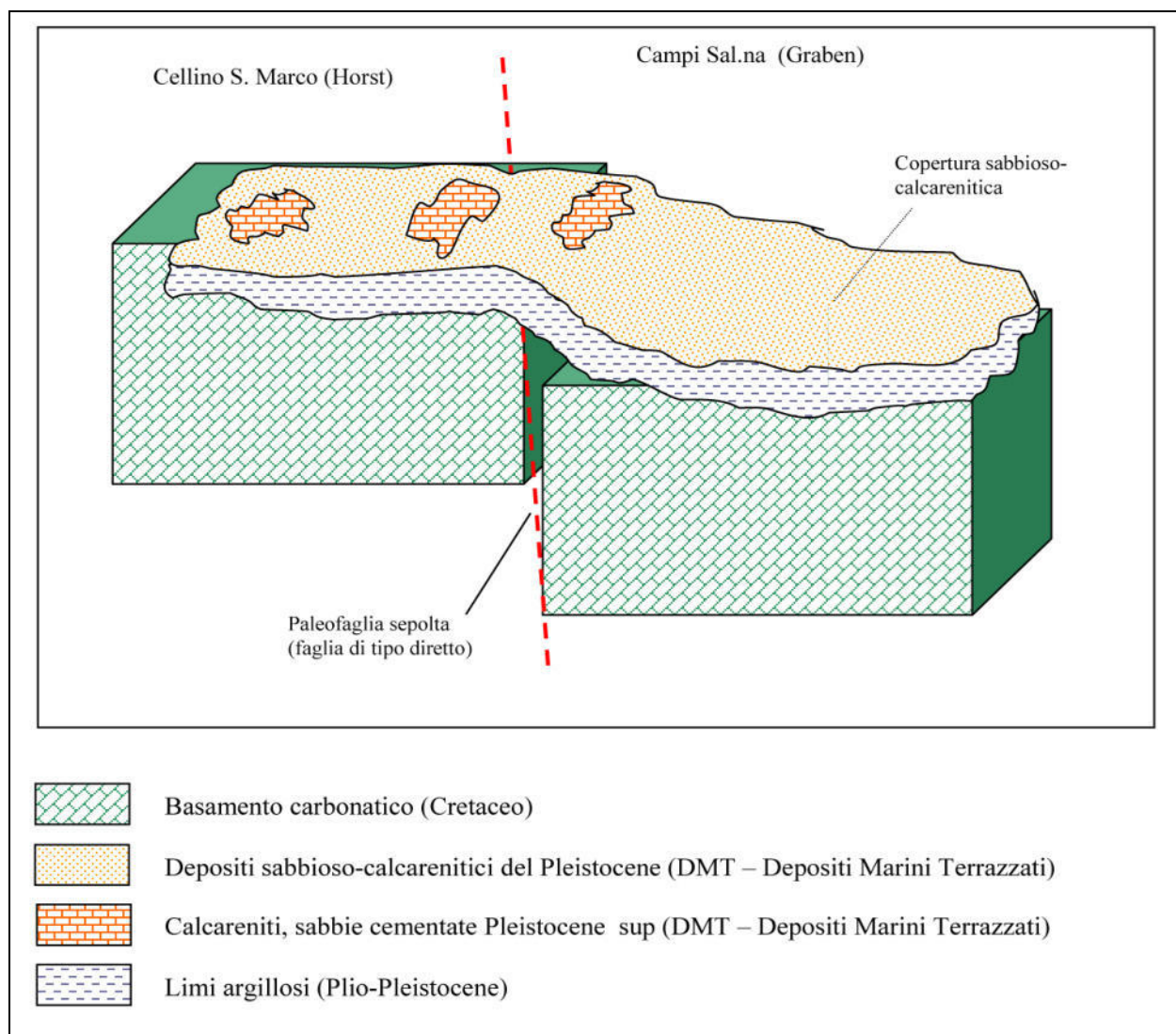


Fig. 2 – Schema morfotettonico semplificato del limite territoriale a Sud del comune di Cellino San Marco, lungo il sollevamento morfologico-strutturale denominato “Serra S. Elia” (da Elia, 2008).

In linea di massima, si può affermare che la successione litostratigrafica nel sottosuolo può essere stata controllata, nel passato, da movimenti tettonici che hanno formato, ad ampia scala, strutture “a blande pieghe” e, a piccola e media scala, strutture “a faglie” (Ciaranfi *et al.*, 1988). Mancano macrofratture appartenenti a un recente stile tettonico di tipo “disgiuntivo” e che possano causare fenomeni di instabilità del territorio dal punto di vista sismico.

2.2. Stratigrafia

Il basamento roccioso - che non affiora nel territorio di Cellino San Marco - è rappresentato da Formazioni carbonatiche del Cretaceo (Cenomaniano e, forse, Turoniano), nella fattispecie da Dolomie di Galatina, sulle quali giace in trasgressione la Formazione delle Calcareniti del Salento (Pliocene superiore ? – Calabriano), rappresentata da sabbie calcaree poco cementate con

intercalazioni di banchi di panchina e da sabbie argillose grigio - azzurre. Sulle Calcareniti del Salento poggia la Formazione di Gallipoli (Calabriano), costituita da sabbie argillose giallastre, passanti inferiormente a marne argillose grigio - azzurrate; spesso, l'Unità ha intercalazioni di banchi arenacei e calcarenitici ben cementati. Infine, sulla Formazione di Gallipoli giacciono i Depositi Marini Terrazzati, rappresentati da sabbie calcaree e banchi arenacei e calcarenitici (post-Calabriano).

Di seguito, vengono descritte le Formazioni geologiche affioranti sul territorio di Cellino San Marco, in ordine cronologico dalla più recente alla più antica.

➤ **Depositi Marini Terrazzati (post – Calabriano)**

Questi depositi sono costituiti da calcareniti e sabbie giallastre con intercalazioni di arenarie e sono terrazzati. Tali litotipi, che nella vecchia letteratura geologica (Rossi, 1969) non erano stati identificati, sono stati poi riconosciuti come Depositi Marini Terrazzati (Ciaranfi *et al.*, 1988) e distinti dalle Calcareniti del Salento proprio per la loro natura e forma (a terrazzo). Essi affiorano in superficie, al tetto della Formazione di Gallipoli giacente a sua volta al di sopra della Formazione delle Calcareniti del Salento (Pliocene superiore ? – Calabriano). La potenza di questi depositi di terrazzo varia da qualche metro fino a un massimo di 15 - 20 m.

➤ **Formazione di Gallipoli (Calabriano)**

La Formazione è rappresentata da sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate, in strati di qualche centimetro di spessore, che passano inferiormente a sabbie argillose e argille grigio-azzurre; spesso l'Unità ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici ben cementati. Nelle sabbie più elevate in stratigrafia si nota la presenza di una fauna pleistocenica; nelle sabbie argillose e nelle argille sottostanti il contenuto paleontologico fanno appartenere questi litotipi ad un periodo più ristretto, cioè il Calabriano.

Le sabbie argillose sono ben rappresentate con continuità nella parte settentrionale del territorio di Cellino San Marco, da Ovest verso Est; le sabbie con intercalazioni arenacee e calcarenitiche affiorano a plaghe nella restante parte.

La Formazione di Gallipoli è costituita da due litotipi fondamentali (Martinis, 1967): le marne argillose e, più raramente, le marne, alla base; le sabbie, più o meno argillose, alla sommità.

Le marne argillose hanno una tinta grigio-azzurrognola, sono generalmente plastiche e poco stratificate e contengono percentuali variabili di frammenti di quarzo a spigoli vivi. Vi sono abbondanti macro- e microfossili.

Verso la parte alta della Serie, la componente marnoso - argillosa diminuisce gradualmente, finché si passa a sabbie vere e proprie, giallastre o grigio-giallastre, aventi ancora un certo contenuto di argilla, costituite prevalentemente da frammenti di quarzo a grana da media a fine (Martinis, 1967). Le sabbie sono stratificate e talora parzialmente cementate.

➤ **Calcareniti del Salento (Pliocene superiore ? – Calabriano)**

Questa Formazione affiora in maniera estesa, continua e irregolare nella parte centrale e meridionale del territorio cellinese, da Ovest verso Est. Essa occupa aree morfologicamente depresse e pianeggianti che, nel periodo pliocenico-calabriano, erano invase dal mare.

La Formazione è costituita da sabbie calcaree di colore azzurrognolo, talvolta giallastro per ossidazione, in genere debolmente cementate. Sono pure presenti scarse e poco potenti intercalazioni di panchina, ricche di *Pecten*, *Nassa*, *Dentalium*, *Cardium*, *Chlamys*, *Arca*, ecc.

Le sabbie calcaree sono talora argillose e sono pure presenti livelli esclusivamente argillosi, azzurrognoli, simili alle argille di Galatina e Nardò, ecc.

Lo studio paleontologico condotto su un rilevante numero di campioni, provenienti soprattutto dai livelli argillosi, ha consentito di stabilire la presenza di numerosi esemplari che hanno permesso di attribuire il presente orizzonte al Calabriano. Per quanto riguarda la parte inferiore, non affiorante, non è escluso che essa comprenda anche una parte del Pliocene superiore.

In generale, nelle aree dei suddetti fogli geologici, la potenza della Formazione, desunta in base ai dati dei sondaggi per ricerche d'acqua, sembra che non superi i 30 - 35 m.

A settentrione l'orizzonte viene a contatto con la Formazione di Gallipoli. Il passaggio non è molto chiaro, sia per la scarsa esposizione dei sedimenti interessati, sia per l'assenza di caratteri morfologici indicativi. È possibile che tale passaggio sia costituito da una regolare successione stratigrafica, caratterizzata da una graduale affermazione nel tempo delle caratteristiche tipiche della Formazione di Gallipoli. Tuttavia non si può escludere una parziale sostituzione laterale e neppure si può escludere che il contatto abbia caratteristiche di discordanza.

I litotipi descritti sono rappresentati in dettaglio su una Carta Tecnica Regionale (Tavola 1).

Studi geologici più recenti (Masillo, 2008), inseriti nel lavoro di Aluzzi *et al.* (2008), asseriscono che le Formazioni geologiche possono essere accorpate in due gruppi di età differente: le prime, appartenenti al Cretaceo e, le seconde, al Pleistocene.

Per ciò che concerne la natura geolitologica e stratigrafica dei terreni, procedendo dalla Formazione più recente a quella più antica, si distinguono i seguenti litotipi:

1. Coperture post-calabriane, che comprendono:

➤ sabbie calcaree da fini a grossolane;

➤ banchi arenacei e calcarenitici.

2. Serie della Fossa Bradanica, che comprende:

➤ Argille Subappennine;

➤ sabbie argillose e limose.

Al di sotto di questi litotipi vi è il *bedrock*, costituito da calcari e calcari dolomitici (Calcare di Altamura o Dolomie di Galatina), al di sopra dei quali giace in discordanza stratigrafica la Calcarenite di Gravina (coeva con le Calcareniti del Salento).

Le Argille Subappennine del Calabriano, corrispondenti alla Formazione di Gallipoli, poggiano sulle calcareniti e sui calcari in continuità stratigrafica. Per ciò che concerne il passaggio stratigrafico - deposizionale, esso risulta graduale. Infatti, dalle sabbie leggermente argillose si passa alle argille vere e proprie. Si tratta di argille molto plastiche, di colore grigio-azzurro, con intercalazioni di banchi di sabbie che, a luoghi, assumono la forma lenticolare e sono localizzate nella parte inferiore, a contatto con le sottostanti calcareniti. La potenza massima delle argille è intorno a 40 - 50 m, secondo i sondaggi geognostici eseguiti per alcuni pozzi e quelli compiuti nelle località “*Mea*” e “*Curtipitrizzi*”.

Sulle Argille Subappennine poggiano in trasgressione i depositi sabbioso - calcarei e i banchi arenacei e calcarenitici, attribuibili a un ciclo regressivo post-calabriano, corrispondenti ai Depositi Marini Terrazzati (Ciaranfi *et al.*, 1988). Tale Unità si è deposta in seguito al ritiro del mare verso le attuali coste. La potenza di tale deposito si aggira sui 10 m nei punti di maggiore spessore. Generalmente, l'Unità poggia su superfici di abrasione marina ed è formata da calcareniti a grana variabile, di colore giallo - rosato o bruno. Frequentemente, essa manifesta intercalazioni di lenti di sabbia più o meno argillosa e stratificazione molto irregolare; a luoghi, si presenta in corpi massicci.

A conferma di quanto finora detto, altri studi geologici generali (Elia, 2007 e 2008) hanno caratterizzato il sottosuolo di Cellino San Marco, individuando i seguenti litotipi (dal più recente al più antico):

➤ sabbie fini e calcareniti (Depositi Marini Terrazzati);

➤ limi sabbiosi e argillosi (Argille Subappennine);

➤ argille limoso-sabbiose (Argille Subappennine);

➤ calcareniti biancastre porose, non sempre presenti al passaggio tra argille e calcari Calcarenite di Gravina;

➤ calcari e calcari dolomitici (Calcare di Altamura).

In particolare, sono state eseguite indagini sulle strade per San Pietro Vernotico, per San Donaci e per Squinzano, i cui risultati hanno evidenziato la seguente stratigrafia dall'alto verso il basso:

- sabbie fini calcaree ocraceo – nocciola e/o terre rosse residuali derivanti dal processo di laterizzazione delle sabbie; ciottoli calcarenitici e livelli sabbiosi ben cementati (Depositi Marini Terrazzati, aventi spessore da 2,4 m a circa 3);
- sabbie fini limose ben addensate con intercalazioni calcarenitiche; talora, alla base, vi sono alternanze lenticolari di argille sabbiose e limi argilloso – sabbiosi; spessore variabile da 13,4 m (strada per San Donaci) a 17,2 m (strada per San Pietro Vernotico), fino alla profondità del carotaggio, cioè 28 m (strada per Squinzano);
- argille limose e limi argillosi (fino alla profondità dei carotaggi eseguiti sulla strada per San Donaci e sulla strada per San Pietro Vernotico).

Ulteriori indagini, consistenti in quattordici sondaggi a carotaggio continuo, hanno consentito di ricostruire il profilo stratigrafico longitudinale lungo l'alveo del Canale Fosso.

Le indagini dirette evidenziano la presenza di un corpo sabbioso più spesso e, subordinatamente, di un altro calcarenitico, presente con regolarità fino a circa 4 m di profondità dal piano campagna, laddove si passa a limi sabbiosi con diffusi livelli/noduli calcarenitici, fino a 6,5 m.

Tale deposito sedimentario di tipo sabbioso-calcarenitico si sviluppa con sufficiente regolarità stratigrafica dall'area del cimitero fino alla stazione del metanodotto.

Fino alla profondità di indagine, cioè massimo 12 m, aumenta la frazione argillosa nei limi.

In aggiunta, le prove sismiche *M.A.S.W.* (*Multichannel Analysis Surface Waves*) rilevano che i terreni sono caratterizzati in prevalenza da depositi sabbiosi sciolti con diffusi passaggi latero-verticali a calcareniti e/o sabbie cementate, afferenti ai Depositi Marini Terrazzati (DMT).

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le caratteristiche geomorfologiche sono correlate a quelle di tipo strutturale, in quanto l'evoluzione morfologica del territorio è strettamente dipendente dalla sua struttura geologica.

Piccole e medie forme carsiche o pseudo - carsiche epigee, impostate su substrato calcarenitico e sabbioso-calcarenitico, caratterizzano questo territorio.

Le sabbie fini, diffusamente presenti sul territorio, si presentano rossastre entro uno spessore di 1,5 m, apparentemente come “terre rosse”; queste ultime sono presenti, invece, laddove ha agito il carsismo ovvero sulle calcareniti medio - grossolane che si calano nei depositi sabbiosi o affiorano direttamente in superficie.

L'energia del rilievo è bassa e le forme del territorio sono pressoché pianeggianti, strettamente correlate a un assetto spesso tabulare (a piccola scala) o, blandamente, plicativo (a grande scala).

L'unico elemento morfotettonico che delimita in parte il limite amministrativo con i comuni della provincia di Lecce, avente allineamento Sud-Est – Nord-Ovest, è rappresentato dalla “Serra S. Elia” che si estende dai territori di Trepuzzi, Squinzano e Campi salentina, fino alla culminazione nel territorio cellinese. Questa scarpata di origine tettonica (faglia), generata dalla rottura e successiva dislocazione del basamento calcareo cretaceo, è stata rimodellata nel Pleistocene dall'azione erosiva del mare che ha lasciato, in seguito al suo ritiro, i depositi sabbioso-calcarenitici.

Lungo la scarpata della “Serra S. Elia”, caratterizzata da uno stile tettonico di tipo “disgiuntivo” poiché generata da una faglia diretta, si denota, quindi, una situazione di congruenza tra morfologia e struttura. Alla situazione di “alto strutturale” corrisponde quella di “alto morfologico” e al “basso strutturale” corrisponde il “basso morfologico”.

La faglia diretta, avente immersione a Sud-Ovest e pendenza variabile dal 6% al 12%, è schematizzata in Fig. 2, con un ciglio di gradino morfologico che si estende, lungo il limite territoriale a Sud di Cellino San Marco, per oltre 10 Km, da Trepuzzi a Cellino.

Quasi tutto il territorio comunale è coperto da superfici di modellamento subaereo, corrispondenti a vecchie superfici di abrasione marina, sulle quali si individuano orli di terrazzo morfologico che si identificano con scarpate di vecchie linee di riva, modellate dal mare nella fase di trasgressione pleistocenica.

4. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Nel territorio di Cellino San Marco, a causa della scarsa permeabilità di alcuni tipi affioranti, si forma una serie di canali più o meno profondi che, a sua volta, ha disegnato un reticolo idrografico, ormai appena osservabile a motivo delle modificazioni antropiche nel tempo.

In un recente passato, ciò ha determinato disagi nell'evenienza di abbondanti precipitazioni piovose. L'acqua di pioggia, non potendosi infiltrare nel sottosuolo, si incanala in quelle poche vie preferenziali di ruscellamento che, a causa delle deboli pendenze e della incapacità di far defluire celermente tutte le acque meteoriche, inondano vaste aree del territorio per brevi periodi di tempo.

Inoltre, l'intensa attività agricola e le tecniche di aratura hanno provocato la disgregazione del suolo che, ormai finissimo, è facile preda delle acque di ruscellamento. Così tale materiale viene trasportato in sospensione fino agli inghiottitoi naturali. Le particelle dilavate dall'acqua hanno provocato nel tempo l'occlusione delle fratture e dei pori della roccia, diminuendone nel tempo la capacità di assorbimento.

L'idrografia è rappresentata da corsi d'acqua episodici, alcuni caratterizzati da piccole ripe di erosione, sparsi qua e là sul territorio comunale (Fig. 3); in essi, il deflusso dell'acqua avviene solo nei periodi piovosi, in particolare in autunno e in inverno. I più importanti sono il Canale Fosso (Fig. 4), a Nord dell'abitato di Cellino San Marco e il Canale "Infocaciucci", ancora più a Nord. Il primo rappresenta un affluente del secondo nel territorio di San Pietro Vernotico.

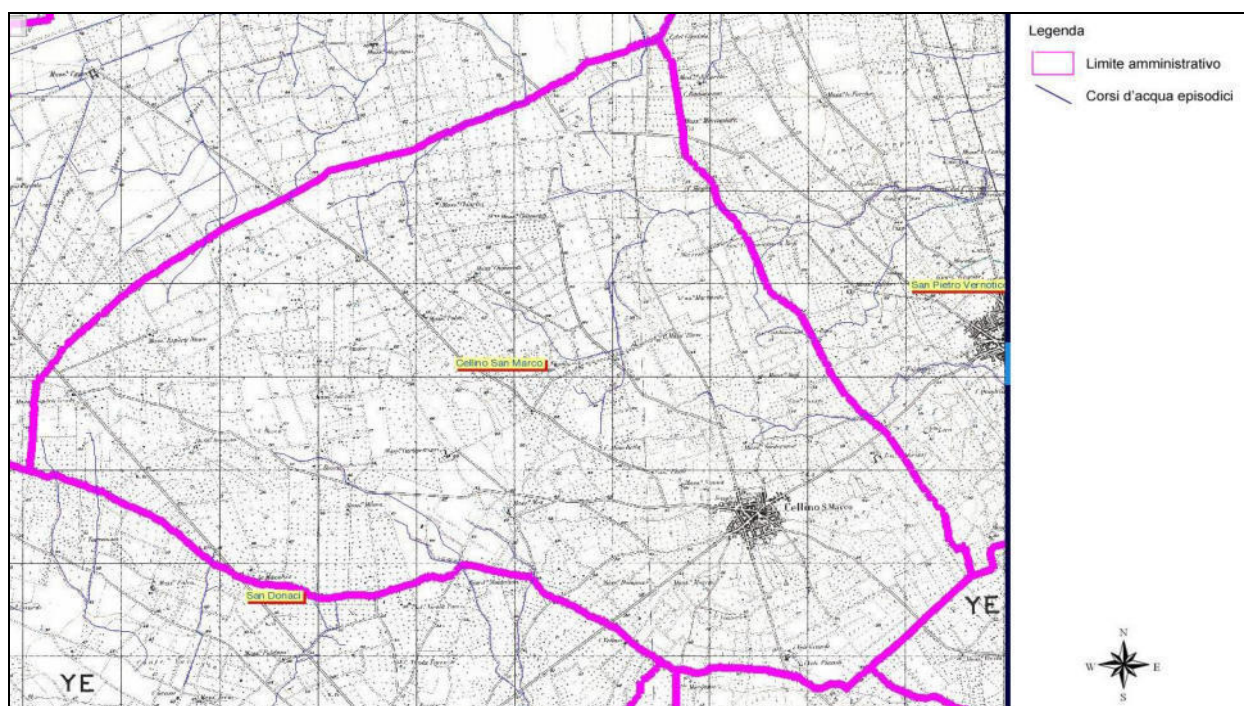


Fig. 3 – Rappresentazione dei corsi d'acqua secondo la Carta idrogeomorfologica redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia (2009).

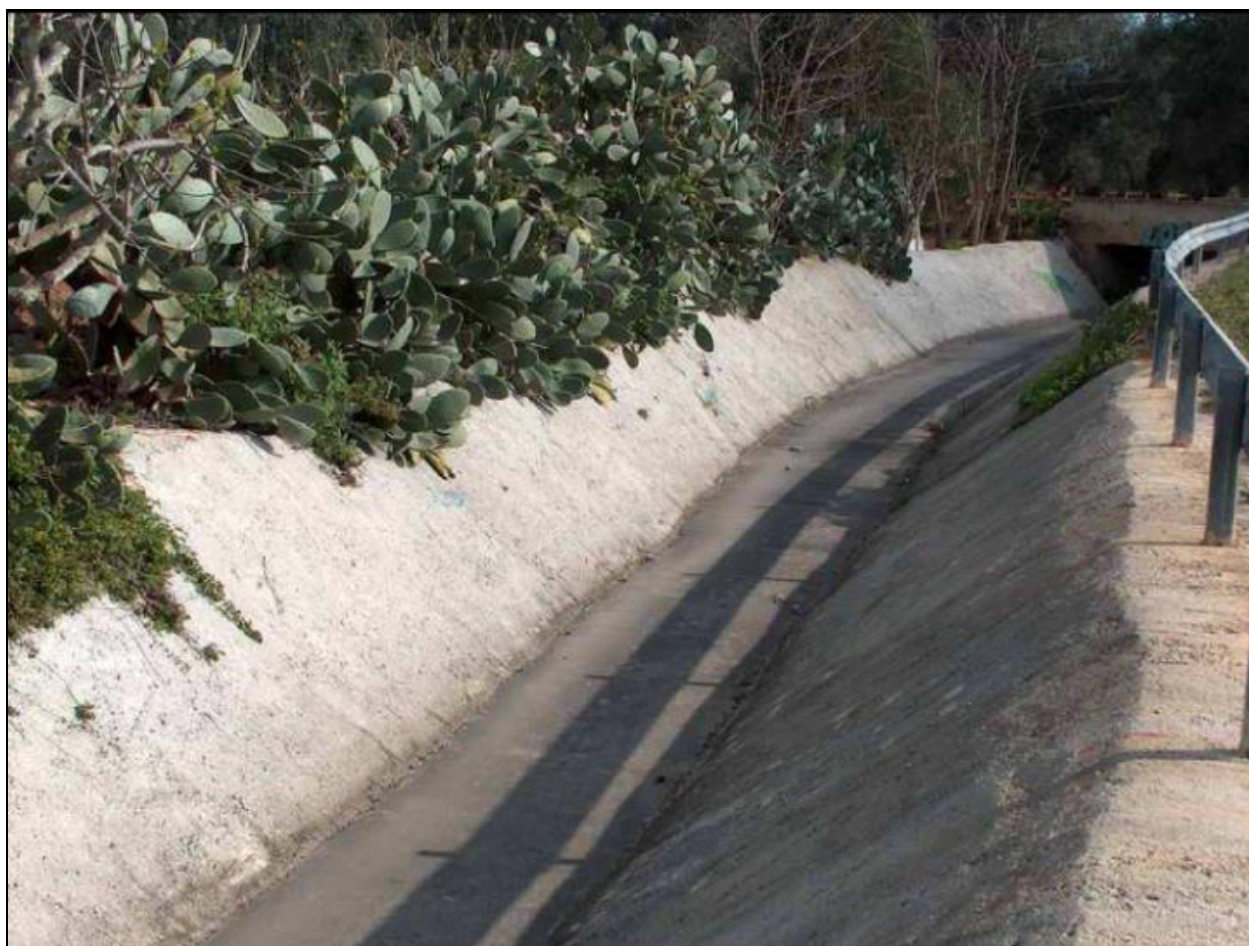


Fig. 4 – Il tratto finale del Canale Fosso, cementato per un tratto di circa 150 m, osservato a valle, in prossimità del limite amministrativo con San Pietro Vernotico (Foto Elia, 2008).

Le forme del rilievo superficiali, precedentemente descritte, sono rappresentate nella Carta geomorfologica (Tavola 2) e i corsi d'acqua episodici sono rappresentati su Carta Tecnica Regionale nella Tavola 3.

5. CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ E SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO

I riferimenti legislativi in materia di costruzioni in zona sismica e classificazione sismica del territorio nazionale, ossia il D.M. del 9 gennaio 1996 e l'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 e ss.mm.ii., hanno suddiviso il territorio nazionale, il primo, in tre categorie sismiche, ognuna caratterizzata da un coefficiente di intensità sismica "C" e un grado di sismicità "S"; il secondo, in quattro zone sismiche (Tab. 1), ciascuna caratterizzata da un diverso valore del parametro a_g che è l'accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A. I valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità, da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale, sono:

Zona	Accelerazione orizzontale massima a_g	Accelerazione orizzontale a_g, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	0,35	$> 0,25$
2	0,25	$0,15 - 0,25$
3	0,15	$0,05 - 0,15$
4	0,05	$< 0,05$

Tab. 1 – Suddivisione in zone sismiche e valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo.

Sulla base del D.M. del 9 gennaio 1996, il comune di Cellino San Marco non risulta essere classificato in alcuna categoria sismica (Tab. 2). La presente normativa esprime lo spettro di risposta elastico del terreno attraverso la relazione:

$$a_g = C \times I \times \beta \times e \times R$$

dove:

C = coefficiente di intensità sismica;

I = coefficiente di protezione sismica (variabile tra 1 e 1,4);

B = coefficiente di struttura;

e = coefficiente di fondazione (variabile tra 1 e 1,3);

R = coefficiente di risposta sismica, funzione del periodo proprio T_0 di oscillazione della struttura.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri, l'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, contempla, per la definizione delle azioni sismiche di progetto, cinque categorie principali di terreno di fondazione, individuate dai valori della velocità media delle onde di taglio V_s nei primi 30 m di sottosuolo o dalla resistenza penetrometrica N_{SPT} o dalla coesione non drenata c_u .

Sulla base dell'O.P.C.M. n. 3274/2003, il territorio comunale di Cellino San Marco mostra condizioni litostratigrafiche e tettoniche di assoluta stabilità, essendo classificata come zona 4 (Fig. 5) con un'accelerazione orizzontale massima $a_g = 0,05$ e un'accelerazione orizzontale, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, $a_g < 0,05$.

Codice ISTAT	Denominazione	Categoria secondo la classificazione precedente (Decreti fino al 1998)	Categoria secondo la proposta del GdL del 1998	Zona ai sensi del presente documento (O.P.C.M. n. 3274 del 2003)
16074004	Cellino San Marco	N.C.	N.C.	4

Tab. 2 – Classificazione sismica del comune di Cellino San Marco.

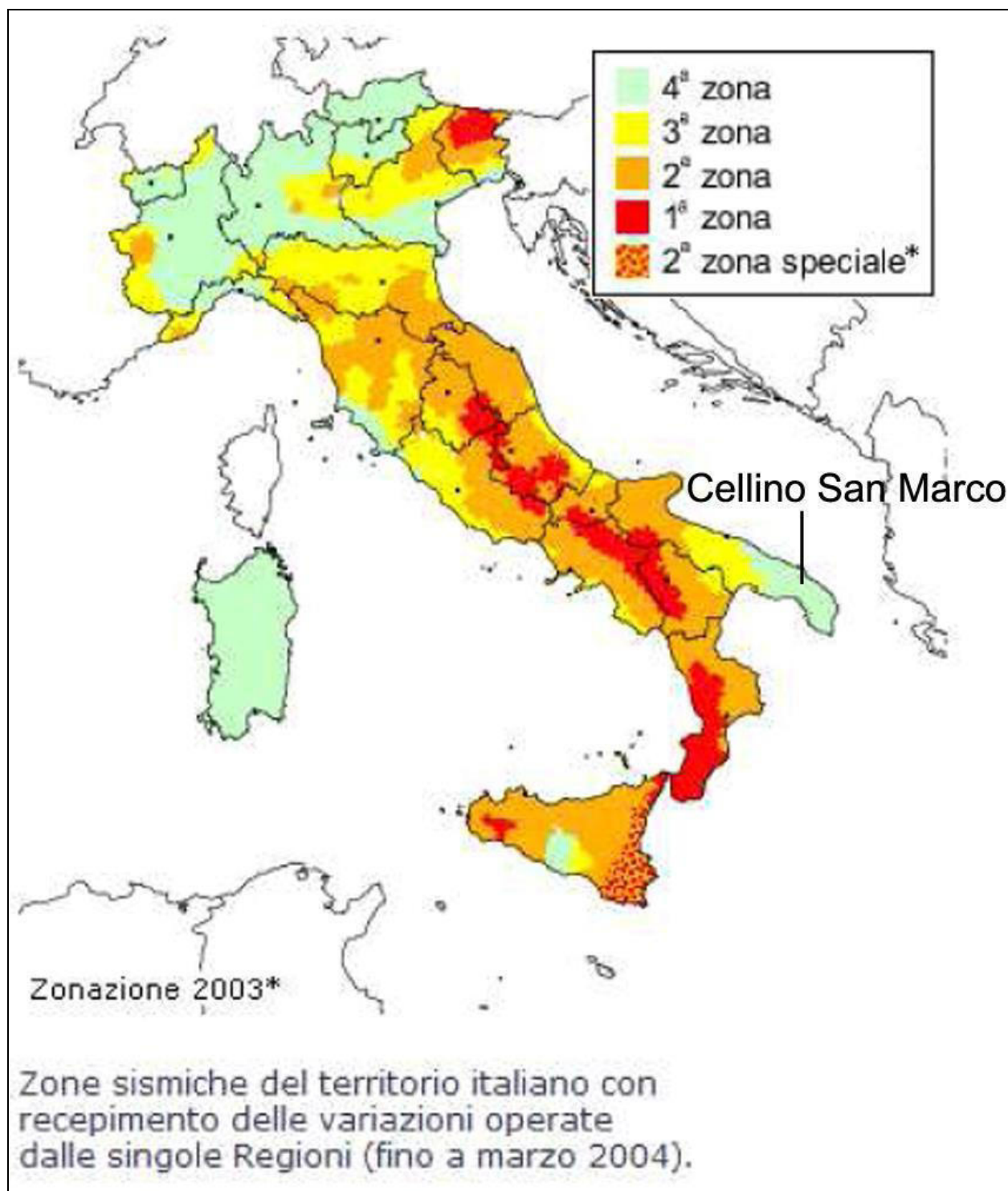


Fig. 5 – Classificazione sismica ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003.

Ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006, è stato introdotto un nuovo metodo di calcolo del valore di a_g che considera la maglia elementare di riferimento come parametro più preciso per la classificazione sismica del territorio. Con riguardo al comune di Cellino San Marco, in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, tale valore è compreso tra 0,025 e 0,050 (Fig. 6) ed è riferito ai suoli rigidi (categoria A con $V_{s30} > 800$ m/s).

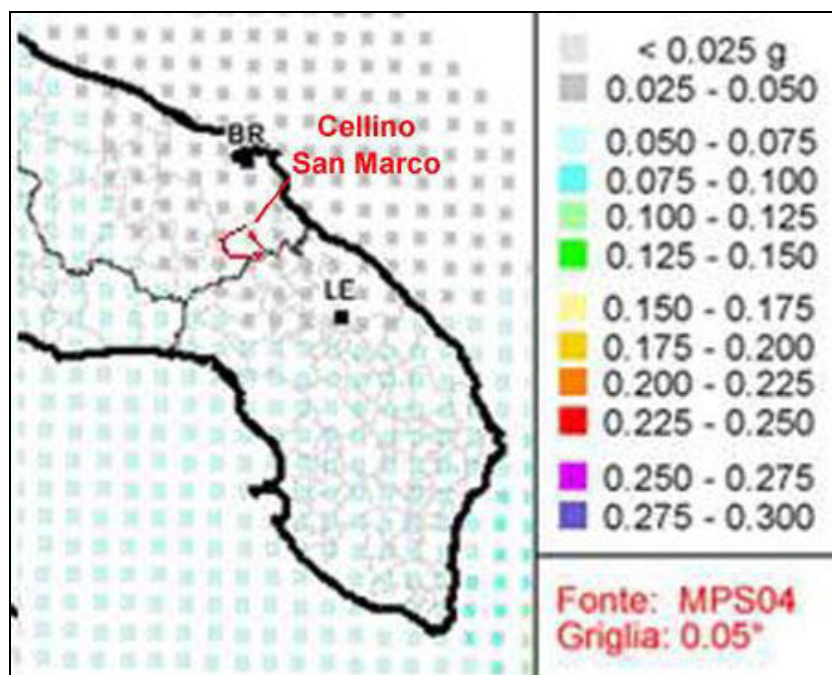


Fig. 6 – Valori di pericolosità sismica (O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi.

Dai risultati delle indagini indirette eseguite in vari luoghi dai Professionisti citati in precedenza, si evince che i valori delle velocità V_{s30} sono compresi tra 360 m/s e 800 m/s; essi fanno attribuire i terreni a un suolo di categoria “B”, definito secondo l’O.P.C.M. n. 3274/2003, come *“Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa)”* (Tab. 3).

Classe	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < C_u < 250$ kPa).
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{SPT} < 15$, $C_u < 70$ kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 m e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

Tab. 3 – Categorie di suolo di fondazione (O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003).

Il territorio cellinese è considerato stabile sotto l'aspetto sismo-tettonico e si escludono a priori dissesti geologici dovuti a rotture di Unità litotecniche nel sottosuolo in seguito a movimenti tellurici.

La classificazione nazionale considera la zona fra quelle con livelli di scarsa sismicità per quanto riguarda l'accelerazione sismica nel sottosuolo investigato. Pertanto, in tale area risulta trascurabile il fattore di pericolosità generato da eventi sismici.

Inoltre, il medesimo O.P.C.M., per ogni categoria di suolo di fondazione, indica un fattore S moltiplicatore dell'accelerazione a_g relativa alla zona sismica classificata e definisce i periodi T_B – T_C – T_D che individuano lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale e della componente verticale dell'azione sismica, in funzione del profilo stratigrafico del suolo di fondazione (Fig. 7).

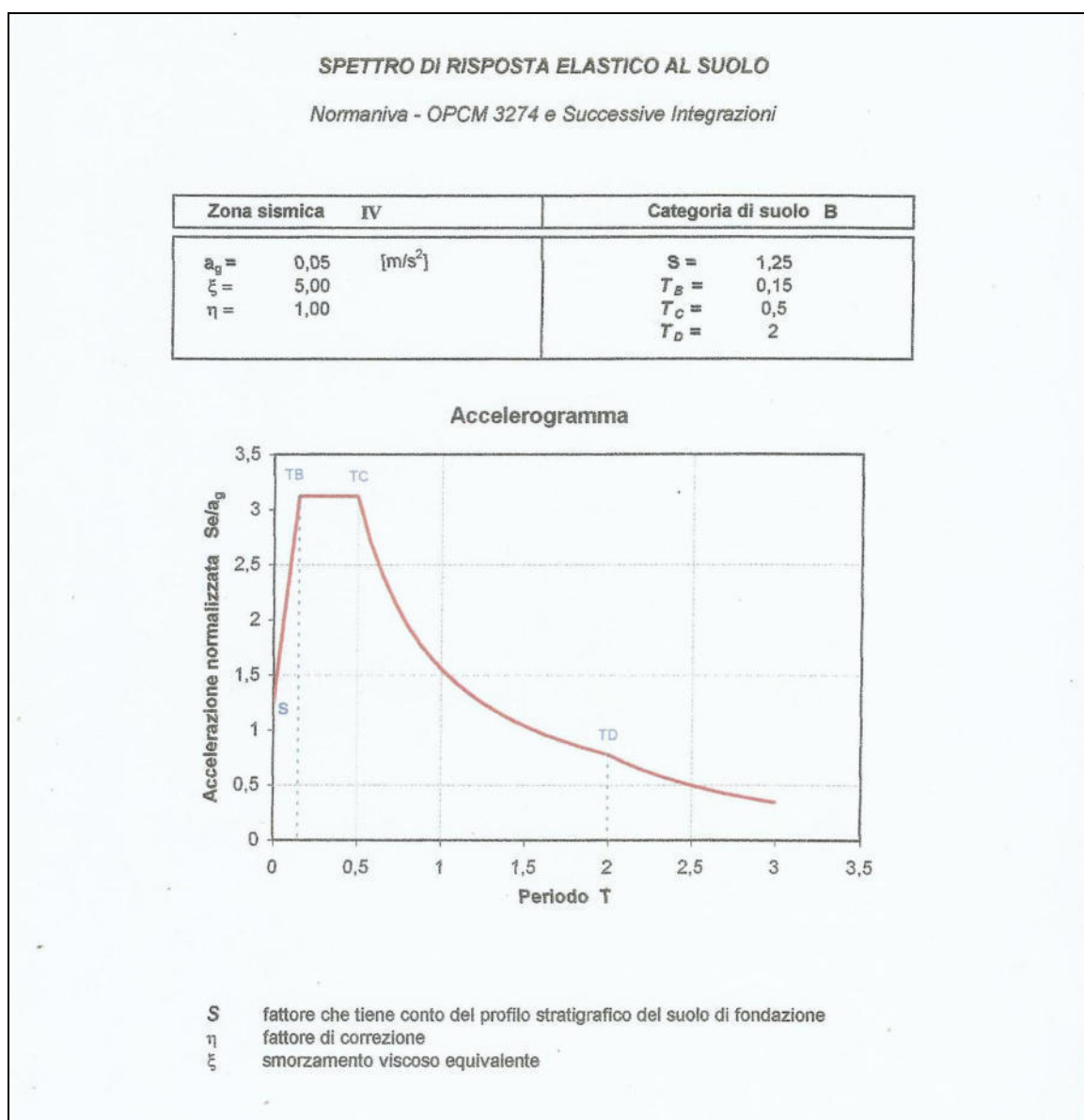


Fig. 7 – Spettro di risposta elastico al suolo (normativa O.P.C.M. n. 3274/2003 e ss.mm.ii.)
(da Elia, 2007).

6. IDROGEOLOGIA

Caratteristica comune a tutto il territorio salentino è la quasi totale assenza di idrografia superficiale. Le cause sono molteplici, dalla elevata permeabilità delle rocce affioranti alla mancanza di monti, sorgenti, ghiacciai e quant'altro garantisca un rifornimento continuo ai già poco accentuanti alvei fluviali.

Così, tutta l'acqua meteorica, ad esclusione di quella evapotraspirata, va ad alimentare gli acquiferi dell'area. In particolare, tali acquiferi si dividono in falde idriche superficiali (o freatiche) e falda idrica profonda.

Le prime, dette anche falde pensili, si localizzano nei Depositi Marini Terrazzati e poggiano sulle sottostanti argille.

È chiaro come la profondità di rinvenimento di tali falde, di dimensioni non rilevanti, variano a seconda dello spessore dello strato sovrastante le argille e in funzione della frequenza delle precipitazioni meteoriche responsabili della loro ricarica.

Gli spessori non sono rilevanti, ma sufficienti a inumidire per capillarità i terreni sovrastanti e per adsorbimento e lentissima permeabilità (10^{-9} cm/s e 10^{-6} cm/s) le argille sottostanti (specialmente nei periodi di elevata piovosità quando aumenta il carico idraulico).

Tali falde si trovano in più punti del territorio comunale, a profondità generalmente variabili tra i 2 m e i 5 m fino, localmente, a 11 m. Pertanto, si può senz'altro sostenere che le falde superficiali o freatiche potrebbero interessare in qualche modo le fondazioni o le strutture interrato delle opere presenti o da realizzare. Tale possibile interferenza dovrà essere verificata necessariamente con l'espletamento di indagini dirette (perforazioni a carotaggio continuo), al fine di poter valutare la resistenza a compressione dei terreni immersi e il loro comportamento presente e futuro.

La seconda, detta falda idrica profonda, è localizzata nei calcari cretatici e ha come superficie di fondo i medesimi calcari che, a una certa profondità, sono compatti e poco alterati, consentendo così all'acqua vadosa di accumularsi e dare vita alla potente falda a pelo libero.

La profondità di giacenza di tale falda si aggira intorno a 50 m – 60 m dal piano campagna, con variazioni di livello stagionale inferiori al metro. Il deflusso delle acque sotterranee avviene da Sud-Ovest verso Nord-Est e la velocità, funzione del coefficiente di permeabilità K e del gradiente idraulico i secondo la relazione $v = K \times i$, è assai bassa. La cadente piezometrica media è pari a 0,8‰.

Locali falde superficiali “sospese” possono condizionare la stabilità dello scavo nel tratto che va dall'area retro-cimiteriale fino all'innesto, a valle della strada comunale “Verderame”, di una scolina secondaria nel Canale Fosso, censita dal Piano di Assetto Idrogeologico. Le misure del

livello piezometrico nelle perforazioni di sondaggio indicano una soggiacenza variabile da 1,50 – 1,80 m a 3,20 – 3,75 m dal piano campagna; in altre perforazioni, i livelli piezometrici variano da 4 m fino a 10 – 11 m (Fig. 8).

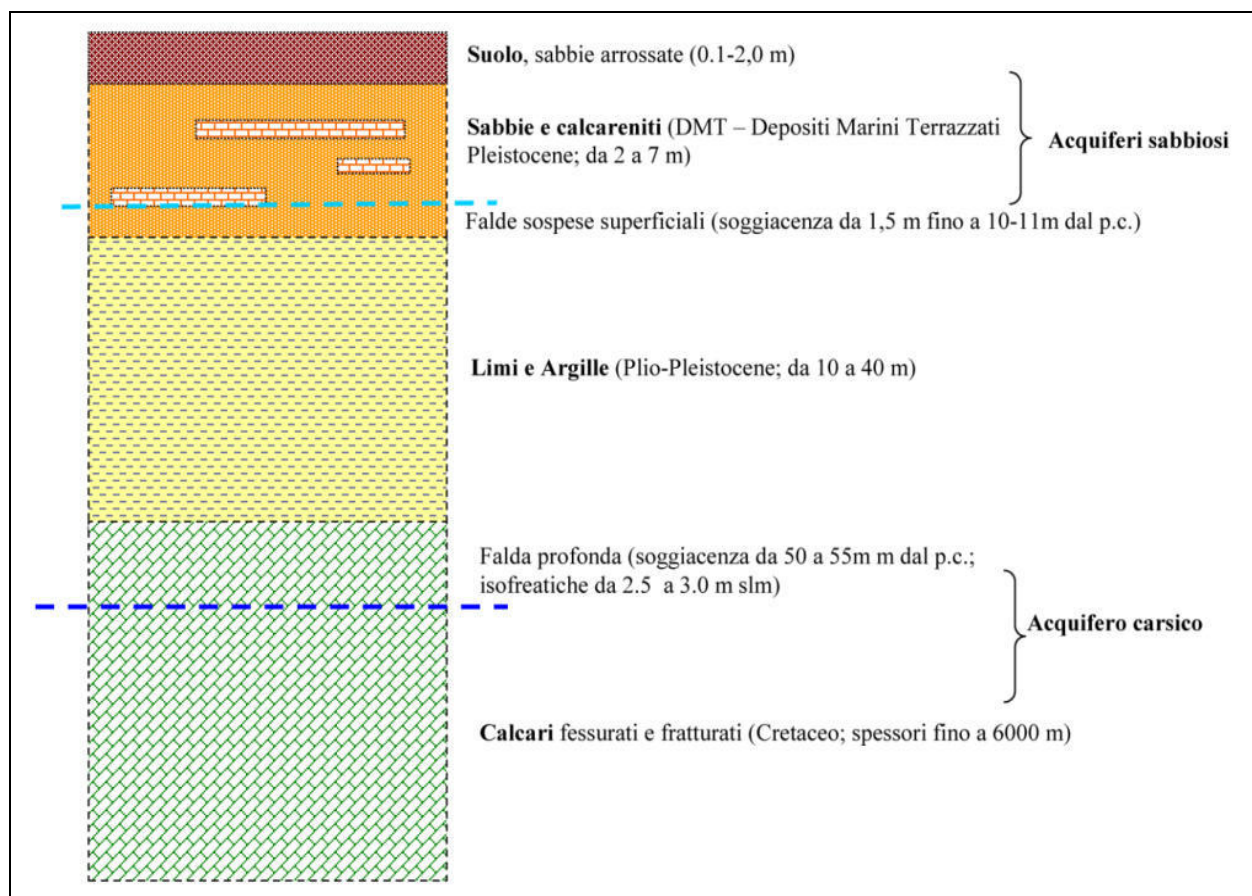


Fig. 8 – Sezione stratigrafica generale con rappresentazione delle falde acquifere (da Elia, 2008).

6.1. Permeabilità dei litotipi affioranti

La localizzazione in profondità e l'estensione degli acquiferi sono determinate dall'alternanza delle Formazioni idrogeologiche permeabili, semipermeabili e impermeabili.

Sulla scorta di una stima indiretta del grado di permeabilità di ciascuna Unità della locale serie stratigrafica, basata sulla osservazione e correlazione di parametri diversi, quali fessurazione, grado di carsificazione, cadenti piezometriche, portate emunte ecc., le condizioni idrogeologiche del territorio comunale di Cellino San Marco sono quelle schematizzate in Tab. 4.

L'alimentazione idrica della falda avviene per infiltrazione diffusa delle acque di precipitazione ricadenti sugli affioramenti permeabili, ovvero per infiltrazione concentrata laddove le acque sono drenate nel sottosuolo attraverso apparati carsici o inghiottitoi naturali.

Le rocce che affiorano nel territorio cellinese sono in prevalenza permeabili per porosità, fessurazione, porosità e fessurazione oppure impermeabili (argille). La permeabilità del primo tipo è tipica dei Depositi Marini Terrazzati misti a terreno vegetale.

La permeabilità del terzo tipo è tipica delle calcareniti.

Unità litostratigrafiche	Tipi di permeabilità	Tipi di falda
Depositi Marini Terrazzati (Sabbie e calcareniti)	Porosità	Superficiale
Argille Subappennine	Impermeabile	-
Calcarenite di Gravina	Porosità e, in parte, fessurazione	-
Calcere di Altamura	Fratturazione, fessurazione, carsismo	Profonda

Tab. 4 – Schema delle condizioni idrogeologiche locali (da Masillo, 2008, in parte riveduto).

Il grado di permeabilità è variabile localmente, in relazione all'assortimento granulometrico, incisività di fenomeni di paracarsismo, struttura e diagenesi del deposito. In particolare, le *facies* calcarenitiche sono da ritenersi dotate di permeabilità scarsa in corrispondenza di granulometria fine e significativo contenuto argilloso, ovvero media ove prevalgono clasti grossolani, bancate riccamente fossilifere e strutture porose e concrezionate.

I calcari (Calcere di Altamura), invece, sono dotati di permeabilità secondaria per fratturazione, fessurazione e carsismo.

In base ai criteri litologici descritti e alle osservazioni di campagna, i terreni affioranti possono essere così classificati in base al tipo di permeabilità:

- terreni permeabili per porosità (da media a scarsa) (Depositi Marini Terrazzati);
- terreni permeabili per fratturazione, fessurazione e carsismo (elevata) (Calcere di Altamura);
- terreni impermeabili (Argille Subappennine).

6.1.1. Terreni permeabili per porosità

A questa categoria appartengono la Calcarenite di Gravina, le calcareniti post-calabrianne e i Depositi Marini Terrazzati che, per i caratteri granulometrici e tessiturali, mostrano una permeabilità per porosità generalmente scarsa. Solo in corrispondenza dei livelli fratturati o a macrofossili, la permeabilità aumenta sensibilmente per le vie preferenziali di deflusso dovute ai vuoti intergranulari o alle fratture.

6.1.2. Terreni permeabili per fratturazione, fessurazione e carsismo

Questi terreni sono rappresentati dai calcari del Cretaceo (Calcare di Altamura) che, si precisa, non affiorano in superficie, nel comprensorio comunale di Cellino San Marco.

6.1.3. Terreni impermeabili

A questa classe appartengono le argille e i limi presenti in maniera quasi omogenea a profondità modeste in tutto il territorio comunale.

Si può affermare che il deflusso della falda freatica superficiale è piuttosto lento nelle aree in cui essa emerge (in quasi tutto il territorio), a causa della presenza della frazione argillosa. L'escursione stagionale, che dipende dalle precipitazioni piovose e varia da 1,5 m a 2 m, porta all'affioramento della medesima in alcune zone dove il letto è superficiale, con conseguente ristagno dell'acqua per periodi piuttosto lunghi.

Per ciò che concerne la falda di acqua dolce profonda, essa fluttua sull'acqua marina di intrusione continentale in base alla teoria di *Ghyben-Herzberg*. L'acqua marina, in conseguenza della permeabilità delle rocce, si rinviene nell'entroterra alla base della falda freatica, a profondità sempre maggiori sotto il livello del mare, man mano che ci si allontana dalla linea di costa in modo che l'acqua dolce, in virtù della sua inferiore densità, galleggia sull'acqua salata sotterranea, attraverso una superficie di contatto la cui giacitura è in ogni punto funzione della differenza di salinità. Tale superficie (interfaccia), in realtà, per il fenomeno della diffusione molecolare, ha uno spessore di una decina di metri.

Nel territorio di Cellino San Marco, la profondità media del livello statico dei pozzi che attingono dalla falda idrica profonda varia tra 40 m e 60 m dal piano campagna, con un carico idraulico che varia da 2 m [ndr] a 2,5 m, fino a 3 m sul livello medio del mare. La circolazione dell'acqua sotterranea avviene da Sud-Ovest verso Nord-Nord-Est.

La Carta idrogeologica è rappresentata nella Tavola 4.

7. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Indagini indirette di tipo geofisico sono state eseguite su tre strade periferiche del centro abitato di Cellino San Marco, vale a dire sulla strada per San Pietro Vernotico, sulla strada per San Donaci e su quella per Squinzano (Elia, 2007).

La prova sismica a rifrazione ha restituito i seguenti valori dei parametri geotecnici (Tab. 5).

Strato n°	V_p (m/s)	γ (kg/m ³)	ν	ρ (kg/m ³)	V_s (m/s)	E_d (kg/cm ²)	G_o (kg/cm ²)
1	350	1400	0,3	142,76	187,08	1299,12	499,66
2	700	1650	0,35	168,25	336,27	5136,90	1902,56
3	1000	1780	0,4	181,51	408,25	8470,44	3025,16

Tab. 5 – Valori medi dei parametri geotecnici negli strati del sottosuolo (da Elia, 2007).

dove:

V_p = velocità medie delle onde longitudinali;

V_s = velocità medie delle onde di taglio;

γ = peso di volume del litotipo;

ν = modulo di *Poisson* (numero puro);

ρ = densità media per lo strato considerato;

E_d = modulo di deformazione dinamico di *Young*;

G_o = modulo di taglio dinamico.

Lungo il Canale Fosso, poco a Nord del centro abitato cellinese, i risultati di una campagna di indagini consistente in 14 sondaggi a carotaggio continuo, prove *SPT* in 7 perforazioni, prove di laboratorio su 4 campioni prelevati alle profondità comprese tra 2 e 2,5 m e indagini sismiche, hanno messo in evidenza che i terreni sono classificati come sabbia dal 54% al 68%, come limo dal 17% al 29% e come argilla dal 15% al 17%; la coesione si aggira tra 0,05 kg/cm² e 0,10 kg/cm² e l'angolo di attrito interno tra 25° e 27°. Le prove *SPT* (*Standard Penetration Test*), eseguite a 1,5 m, a 2,5 m e a 3 m di profondità, hanno rilevato un valore medio di circa 9 colpi per l'avanzamento di 15 cm. La velocità media delle onde di taglio V_{s30} nei primi metri dei terreni investigati è pari a 430 m/s; tali litotipi rientrano, quindi, nella classe “B”, secondo l'O.P.C.M. n. 3274/2003. In particolare, i terreni sono costituiti in prevalenza da depositi sabbiosi con diffusi passaggi latero-verticali a calcareniti e/o sabbie cementate, afferenti ai Depositi Marini Terrazzati; essi sono ben addensati con buone caratteristiche fisico-meccaniche (Elia, 2008).

Altre indagini geofisiche per rilevare la velocità delle onde longitudinali V_p sono state compiute sia nel centro urbano che nell'area extraurbana (Masillo, 2008). In particolare:

- nel centro urbano: in via Brindisi, in via Genova, in via Gigante, in via Torino, in via Squinzano, in via Po, in via Guagnano, in via San Donaci, in via Martiri Fosse Ardeatine (n. 9 profili con relative sismostratigrafie);
- nell'area extraurbana: in contrada “*Veli*”, per lo stabilimento vinicolo “*Li Veli*” S.p.A. (n. 4 prospezioni sismiche), in via Oria (n. 1 stendimento sismico).

Dai risultati delle succitate indagini, alcuni litotipi, riconosciuti anche in zone distanti tra loro, hanno mostrato caratteristiche fisico-meccaniche simili, indicando l'appartenenza dei medesimi alla stessa Formazione. Ad esempio, il calcare cretacico – che non affiora nel territorio cellinese, ma giace in profondità – di solito, quando integro, possiede elevate proprietà meccaniche con resistenza alla compressione variabile da 1000 a 3000 kg/cm². Questi valori dipendono da situazioni locali, come lo stato di alterazione del calcare, la presenza di acqua ecc.; la capacità portante e la resistenza al taglio dipendono anche dall'indice “*Rock Quality Designation*”, dalla spaziatura dei giunti e dalla peculiarità delle superfici di alterazione.

In territorio extraurbano, sono state eseguite perforazioni di sondaggio nelle località di Masseria “*Li Veli*”, Masseria “*Curtipitrizzi*”, Masseria “*La Mea*”. Più precisamente:

- n. 2 perforazioni a carotaggio continuo con n. 3 prove *SPT* in ciascun foro di sondaggio in località Masseria “*Li Veli*” (stabilimento vinicolo “*Li Veli*” S.p.A.);
- n. 1 perforazione nella contrada di Masseria “*Curtipitrizzi*” e prove di laboratorio su un campione indisturbato, prelevato tra 20 e 20,35 m di profondità, rappresentato da sabbia con limo, argillosa, avente indice di consistenza pari a 1,49% e indice di plasticità di 5,5% (poco plastica); la coesione è 0,06 kg/cm² e l'angolo di attrito interno 32,9°, la porosità è pari a 37,7%, il grado di saturazione è 88,8% e il contenuto naturale di acqua 20%;
- n. 1 perforazione nella località di Masseria “*La Mea*”.

Le prove *SPT* (*Standard Penetration Test*) hanno restituito indicazioni sugli stati di consistenza e addensamento dei terreni caratterizzanti localmente il territorio cellinese, in accordo alle Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche di AGI (1977). Nel sondaggio n. 1 le prove sono state eseguite a 3 m, 6 m e 9 m di profondità e sono stati necessari, rispettivamente, 19, 26 e 32 colpi per infiggere nel terreno una punta conica per un tratto di 10 cm fino a rifiuto. Nel sondaggio n. 2, invece, sempre alle medesime profondità, sono stati necessari 19, 36 e 31 colpi. La comparazione fra numero di colpi, litotipi e stato di addensamento è mostrata in Tab. 6 (Masillo, 2008).

Litotipi	Numero di colpi	Stato di addensamento
Terreno vegetale limoso - sabbioso	0 – 10	Scarsamente addensato
Sabbie argillose e limi	10 – 20	Poco addensato
Sabbie limose passanti a sabbie argillose	20 – 30	Moderatamente addensato
Alternanza di sabbie con livelli calcarenitici	30 – 50	Addensato
Calcarenite	> 50	Lapideo

Tab. 6 – Comparazione fra numero di colpi, litotipi e stato di addensamento (da Masillo, 2008).

Dal punto di vista geotecnico, si può evidenziare un quadro generale di possibile utilizzo del territorio in funzione delle caratteristiche meccaniche dei litotipi superficiali e profondi. Vengono indicati tre gruppi di litotipi con caratteristiche e comportamenti molto simili:

- 1) Terreni sabbioso – argillosi, a bassa permeabilità, da plastici a compatti a seconda del grado di umidità. Limitazione di fattibilità nella scelta dei manufatti e delle opere fondali con specifico accertamento obbligatorio degli spessori e delle caratteristiche meccaniche delle Unità presenti, mediante indagini geognostiche e prove di laboratorio su campioni indisturbati, atti a verificare l'angolo di attrito interno, il coefficiente di consolidazione volumetrico, la resistenza al taglio, la coesione, la granulometria, i limiti di *Atterberg*, la presenza della falda;
- 2) Terreni sabbiosi da sciolti a poco addensati, con basso angolo di attrito interno e basso valore di resistenza al taglio. Limitazione di fattibilità nella scelta dei manufatti e delle opere fondali con specifico accertamento obbligatorio degli spessori e delle caratteristiche meccaniche delle Unità presenti, mediante indagini geognostiche e prove di laboratorio su campioni indisturbati, atti a verificare l'angolo di attrito interno, il coefficiente di consolidazione volumetrico, la resistenza al taglio, la coesione, la granulometria, i limiti di *Atterberg*, la presenza della falda;
- 3) Terreni mediamente cementati calcarenitici con presenza di macro- e microfossili. Il basso angolo di attrito interno e la modesta capacità portante di questi terreni obbliga l'esecuzione di indagini geognostiche atte a valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni di sedime. Rispetto ai terreni dei gruppi 1) e 2), i terreni del gruppo 3), grazie all'alternanza di strati più addensati e strati sciolti, permettono la resistenza a carichi un po' più elevati. Anche in questo caso è, però, preferibile la prescrizione di indagini geognostiche preliminari *in situ* con l'esecuzione di accertamenti delle caratteristiche meccaniche in modo più speditivo (sismica a rifrazione, prove *SPT* in fori di sondaggio ecc.).

8. CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE E GEOIDROLOGICHE

Le indagini geologico - tecniche eseguite in passato sul territorio di Cellino San Marco di certo non possono sostituire studi e ricerche di maggior dettaglio che dovranno essere condotti in fase di esecuzione di ogni opera.

Nonostante le numerose iniziative antropiche e l'espansione abitativa, legate all'incremento demografico, il comune di Cellino San Marco mostra ancora particolare vocazione verso il comparto agricolo agevolato dalle caratteristiche morfoclimatiche e dalla presenza, in alcune aree, di falde idriche superficiali. Queste ultime, tuttavia, possono provocare situazioni di pericolo a una parte del territorio comunale e, in ispecie, al centro abitato. Infatti, a causa dell'innalzamento dei livelli delle falde idriche superficiali, dovuto a eventi piovosi eccezionali, l'acqua influisce negativamente sulla stabilità dei manufatti del centro abitato, essendo questi caratterizzati da fondazioni superficiali. Precisamente, le acque di infiltrazione riducono le tensioni efficaci quando i livelli idrici delle falde superficiali si elevano; al contrario, esse aumentano le tensioni efficaci quando i livelli si abbassano. Perciò, si generano scompensi stagionali che influiscono sullo stato tensionale dei terreni di fondazione.

Un altro pericolo, ma di natura idraulica, individuato sul territorio cellinese, è rappresentato dalle possibili inondazioni generate, oltre che dalle intense e abbondanti piogge, anche dalle pratiche agricole incontrollate nelle campagne e, a volte, dallo stato di abbandono di queste ultime. L'antico reticolo idrografico, un tempo realizzato e custodito nelle aree topografiche più depresse, già da alcuni anni è stato obliterato dai processi di antropizzazione. Sarebbe, invece, opportuno ripristinare tali vie superficiali di ruscellamento delle acque, mediante interventi di Ingegneria Civile, adattandole alle condizioni pluviometriche attuali e alle soglie critiche di pioggia.

9. RAPPORTI TRA IL TERRITORIO DI CELLINO SAN MARCO E IL PIANO DI BACINO STRALCIO ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA PUGLIA

La Regione Puglia, nella veste dell'Autorità di Bacino (AdB) che ha redatto il Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), ha provveduto alla perimetrazione delle aree a pericolosità e rischio idraulico e geomorfologico. Tale Piano è stato approvato con Delibera del Comitato Istituzionale del 30 novembre 2005 n. 39 e, ai sensi dell'articolo 17 comma 6 *ter* della Legge del 18 maggio 1989 n. 183, ha valore di piano territoriale di settore. Esso è lo strumento conoscitivo, normativo, tecnico - operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Alcune aree del territorio di Cellino San Marco, in particolare quelle prospicienti ai canali di deflusso temporaneo delle acque, sono valutate a pericolosità idraulica da bassa a media fino ad alta, come si evince dalla cartografia rappresentata in Fig. 9a ed estratta dal *webGIS* dell'Autorità di Bacino della Puglia (divenuto, da poco tempo, Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale), essendovi fenomeni di allagamento di particolare rilievo soprattutto nei periodi di massima registrazione delle precipitazioni. Questi allagamenti si originano in parte per esondazione dei pochi canali esistenti sul territorio e, in parte, dall'emergenza dell'acqua delle falde superficiali quando i terreni si saturano a causa di abbondanti piogge.

Inoltre, ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il PAI ha individuato sulla cartografia le fasce di pertinenza fluviale. All'interno di queste fasce sono consentiti gli interventi di cui ai commi 2, 4 e 6 dell'articolo 6 delle NTA, a condizione che sia preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica e idraulica, subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Per ciò che concerne l'instabilità geomorfologica del territorio cellinese, l'Autorità di Bacino della Puglia ha già individuato in località "*Curtipitrizzi*" una grotta, localmente denominata "Grotta dei Briganti", classificata con un livello di pericolosità elevato di tipo PG2 (Fig. 9b).

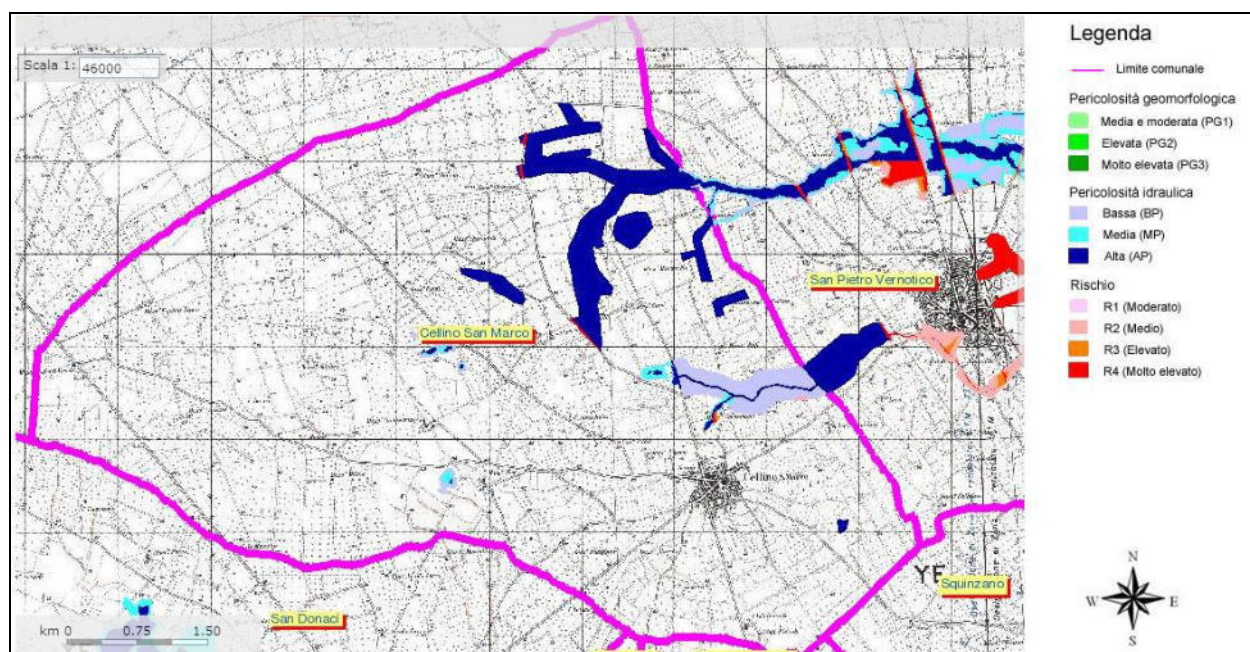


Fig. 9a – Rapporti tra il territorio di Cellino San Marco e le condizioni di pericolosità e rischio idraulico e geomorfologico rilevate dal Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico redatto dall’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino meridionale.

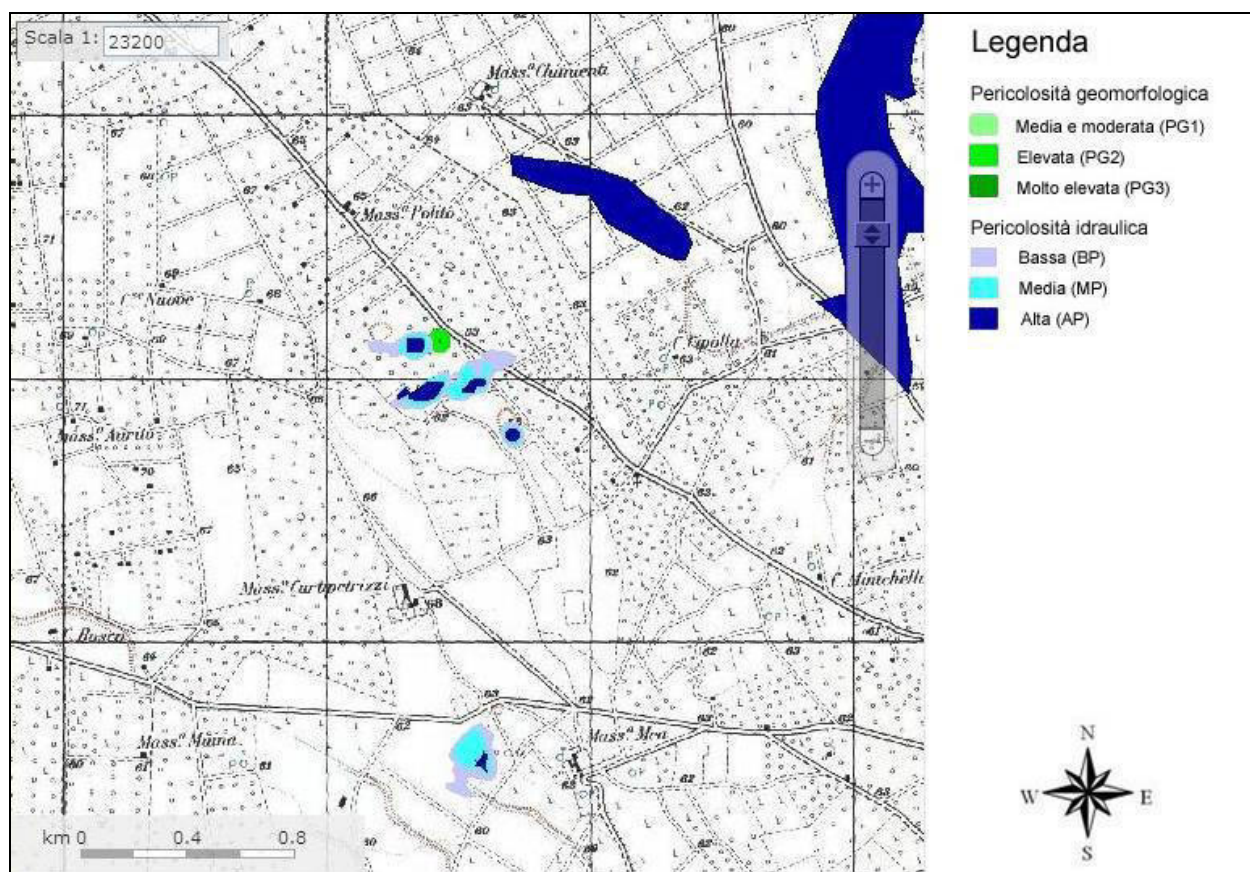


Fig. 9b – Particolare della Fig. 9a che mostra l’ubicazione della “Grotta dei Briganti”, considerata come un luogo avente un livello di pericolosità geomorfologica elevata (PG2).

10. RAPPORTI TRA IL TERRITORIO DI CELLINO SAN MARCO E IL PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DELLA PUGLIA

La Regione Puglia, con Delibera della Giunta Regionale del 19 giugno 2007 n. 883, ha adottato, ai sensi dell'articolo 121 del Decreto Legislativo del 3 aprile 2006 n. 152, il Piano di Tutela delle Acque (PTA), approvato con modifiche e integrazioni e in via definitiva con Delibera del Consiglio Regionale del 20 ottobre 2009 n. 230. In base a tale Piano, tra l'altro, sono state codificate le misure di salvaguardia per le zone di Protezione Speciale Idrogeologica e le misure di tutela quali - quantitativa dei corpi idrici sotterranei.

Il territorio amministrativo di Cellino San Marco non è classificato tra le Zone di Protezione Speciale idrogeologica. Ciò può essere osservato nella Tavola A che, insieme alla Relazione generale del Piano, è stata redatta da Sogesid S.p.A. con il coordinamento del Servizio Tutela delle Acque della Regione Puglia.

Tuttavia, il territorio occupa in gran parte aree di vincolo d'uso degli acquiferi "Acquifero carsico del Salento: aree vulnerabili da contaminazione salina", mentre per una piccola porzione ubicata a Sud-Est, "Acquifero carsico del Salento: aree di tutela quali-quantitativa", come si evince dalle Figg. 10 e 11 che rappresentano, rispettivamente, un estratto della Tavola B allegata alla Relazione Generale del Piano del 2009 e un estratto della Figura 14 presente nella Relazione del Piano allegata al Bollettino della Regione Puglia del 18 luglio 2007 n. 102.

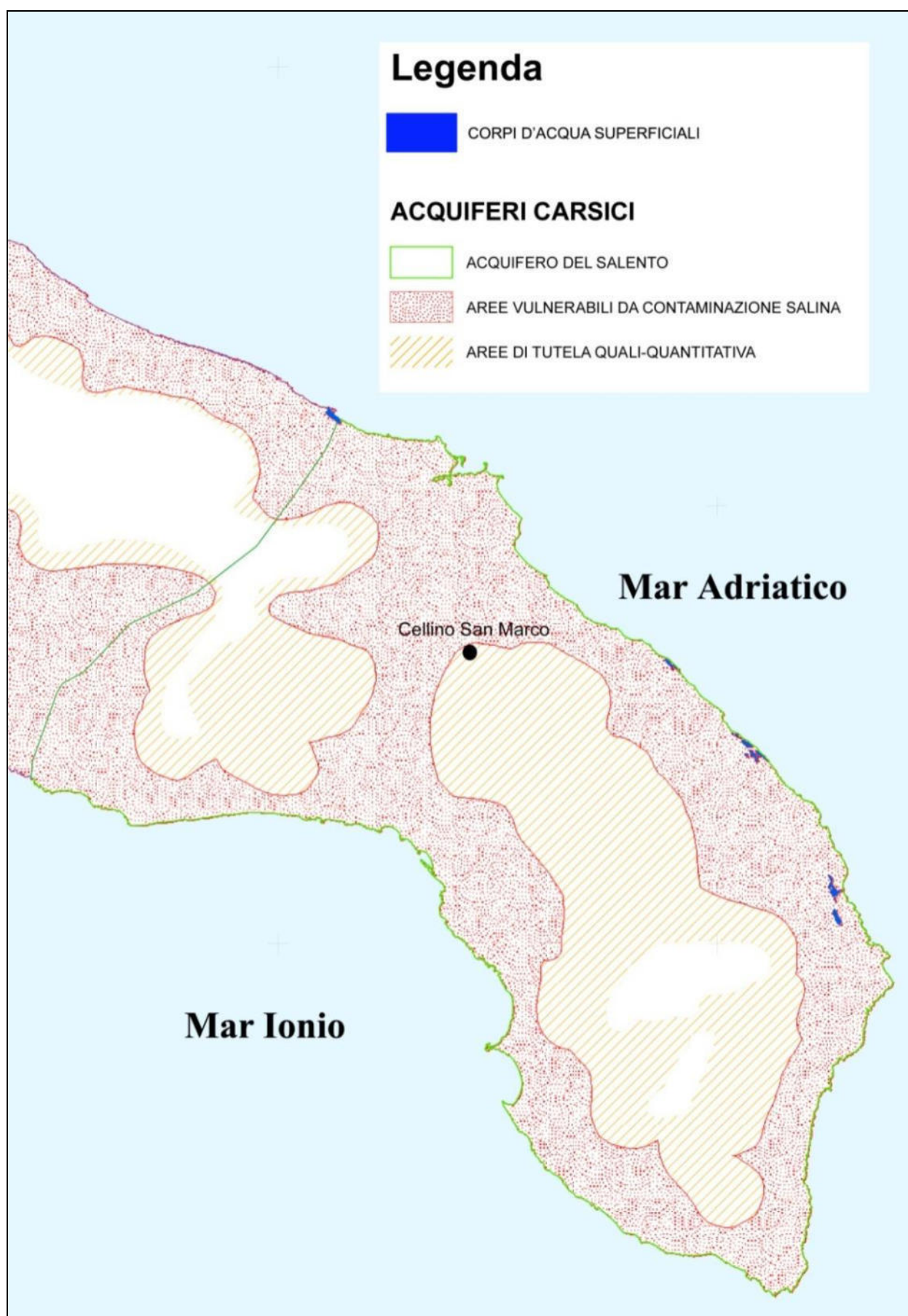


Fig. 10 – Rapporti tra il comune di Cellino San Marco e il Piano di Tutela delle Acque del 2009.

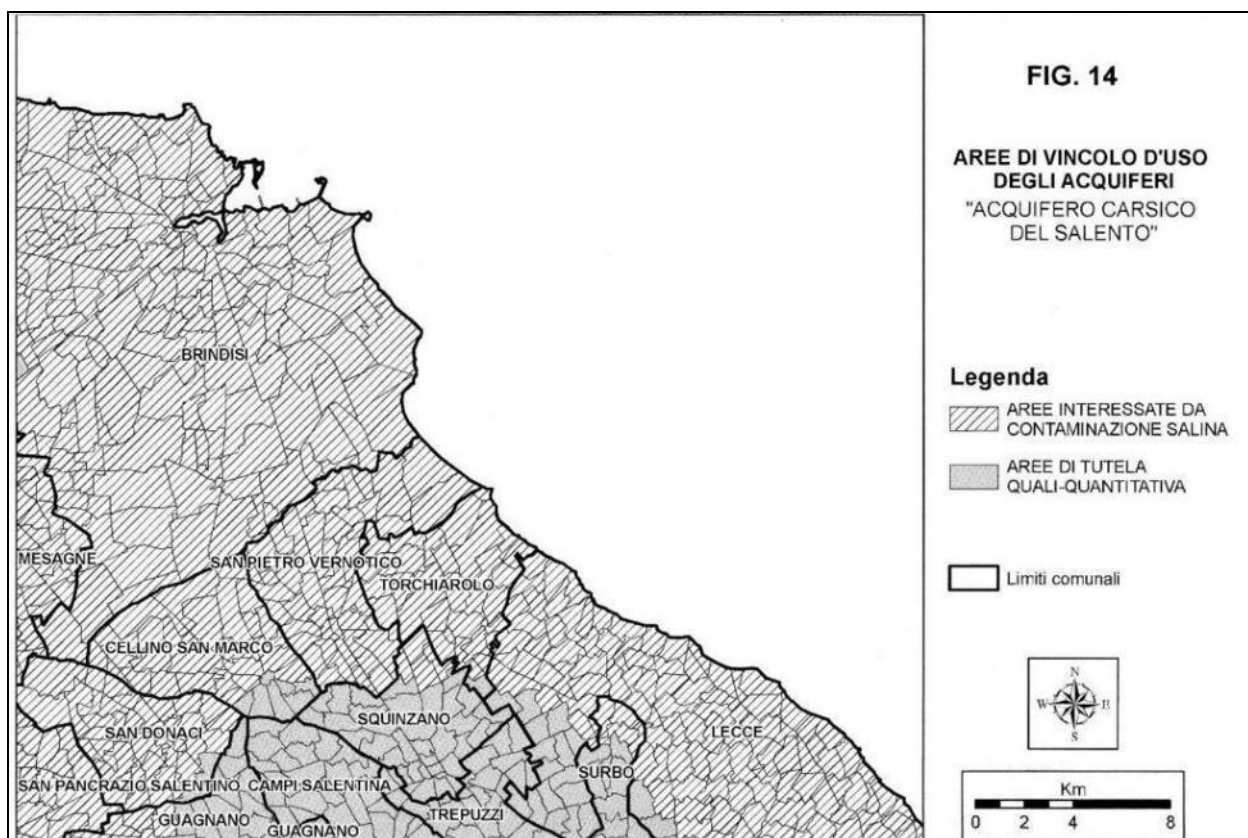


Fig. 11 – Rapporti tra il comune di Cellino San Marco e il Piano di Tutela delle Acque del 2007.

L'andamento delle isopieze della falda profonda è illustrato nella Fig. 12, che è un estratto della Tavola 6.2 del PTA del 2009. Esso è anche mostrato sulla Carta Tecnica Regionale allegata alla presente relazione (*vide* Tavola 4).

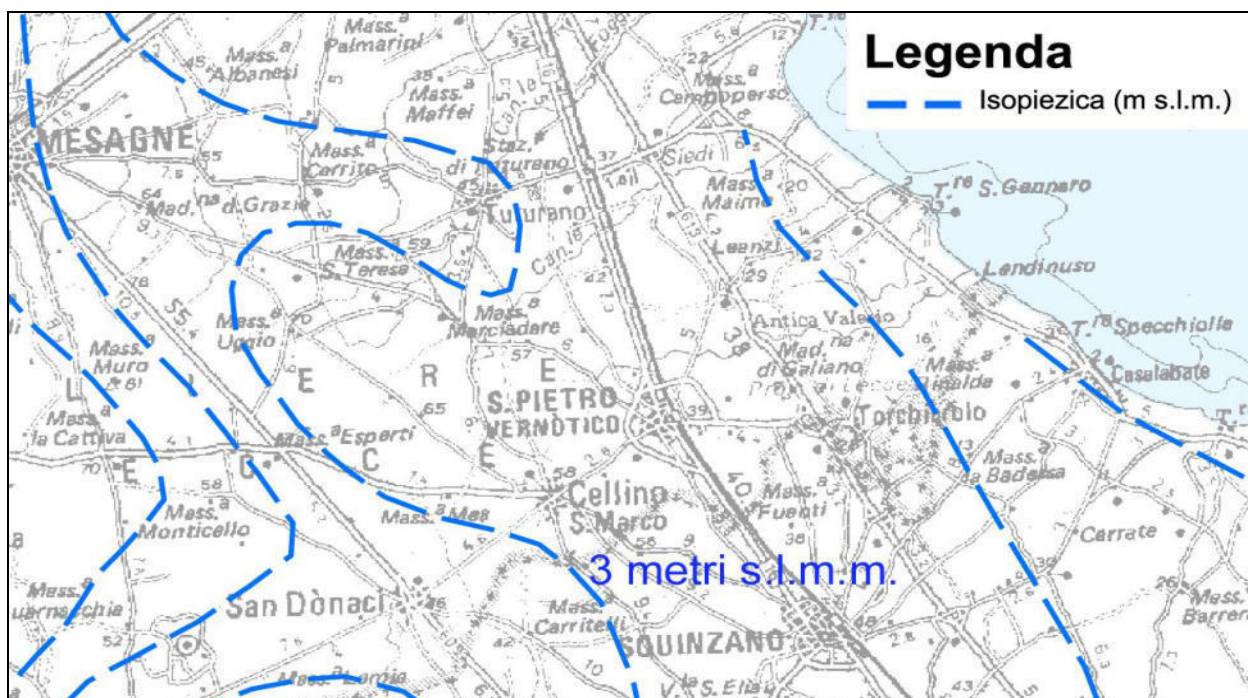


Fig. 12 – Carta delle isopieze della falda idrica profonda, estratta dalla Tavola 6.2 del Piano di Tutela delle Acque del 2009.

11. RAPPORTI TRA IL TERRITORIO DI CELLINO SAN MARCO E IL PIANO PAESAGGISTICO TERRITORIALE REGIONALE DELLA PUGLIA

Il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR) è un Piano ai sensi degli articoli 135 e 143 del Codice, con specifiche funzioni di piano territoriale ai sensi dell'articolo 1 della Legge Regionale del 7 ottobre 2009 n. 20 “Norme per la pianificazione paesaggistica”. Esso è rivolto a tutti i soggetti, pubblici e privati e, in particolare, agli Enti competenti in materia di programmazione, pianificazione e gestione del territorio e del paesaggio.

Il PPTR persegue le finalità di tutela e valorizzazione, nonché di recupero e riqualificazione dei paesaggi di Puglia, in attuazione dell'articolo 1 della Legge Regionale del 7 ottobre 2009 n. 20 “Norme per la pianificazione paesaggistica” e del Decreto Legislativo del 22 gennaio 2004 n. 42 “Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio” e successive modifiche e integrazioni, nonché in coerenza con le attribuzioni di cui all'articolo 117 della Costituzione e conformemente ai principi di cui all'articolo 9 della Costituzione e alla Convenzione Europea sul Paesaggio adottata a Firenze il 20 ottobre 2000, ratificata con Legge del 9 gennaio 2006 n. 14.

Il PPTR persegue, in particolare, la promozione e la realizzazione di uno sviluppo socio-economico autosostenibile e durevole e di un uso consapevole del territorio regionale, anche attraverso la conservazione ed il recupero degli aspetti e dei caratteri peculiari dell'identità sociale, culturale e ambientale, la tutela della biodiversità, la realizzazione di nuovi valori paesaggistici integrati, coerenti e rispondenti a criteri di qualità e sostenibilità.

In riferimento ai rapporti tra il territorio comunale di Cellino San Marco e il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale della Puglia, approvato con Delibera della Giunta Regionale del 16 febbraio 2015 n. 176, lo scrivente ha inserito di seguito uno stralcio della Carta (Fig. 13), che è estratto dal *webGIS* del medesimo Progetto ed è aggiornato alle rettifiche apportate con le successive Delibere della Giunta Regionale che sono le seguenti:

- D.G.R. dell'8 marzo 2016 n. 240
- D.G.R. del 26 luglio 2016 n. 1162
- D.G.R. del 7 aprile 2017 n. 496
- D.G.R. del 12 dicembre 2017 n. 2182
- D.G.R. del 17 aprile 2018 n. 623
- D.G.R. del 2 agosto 2018 n. 1471
- D.G.R. del 21 dicembre 2018 n. 2439
- D.G.R. del 2 agosto 2019 n. 1543

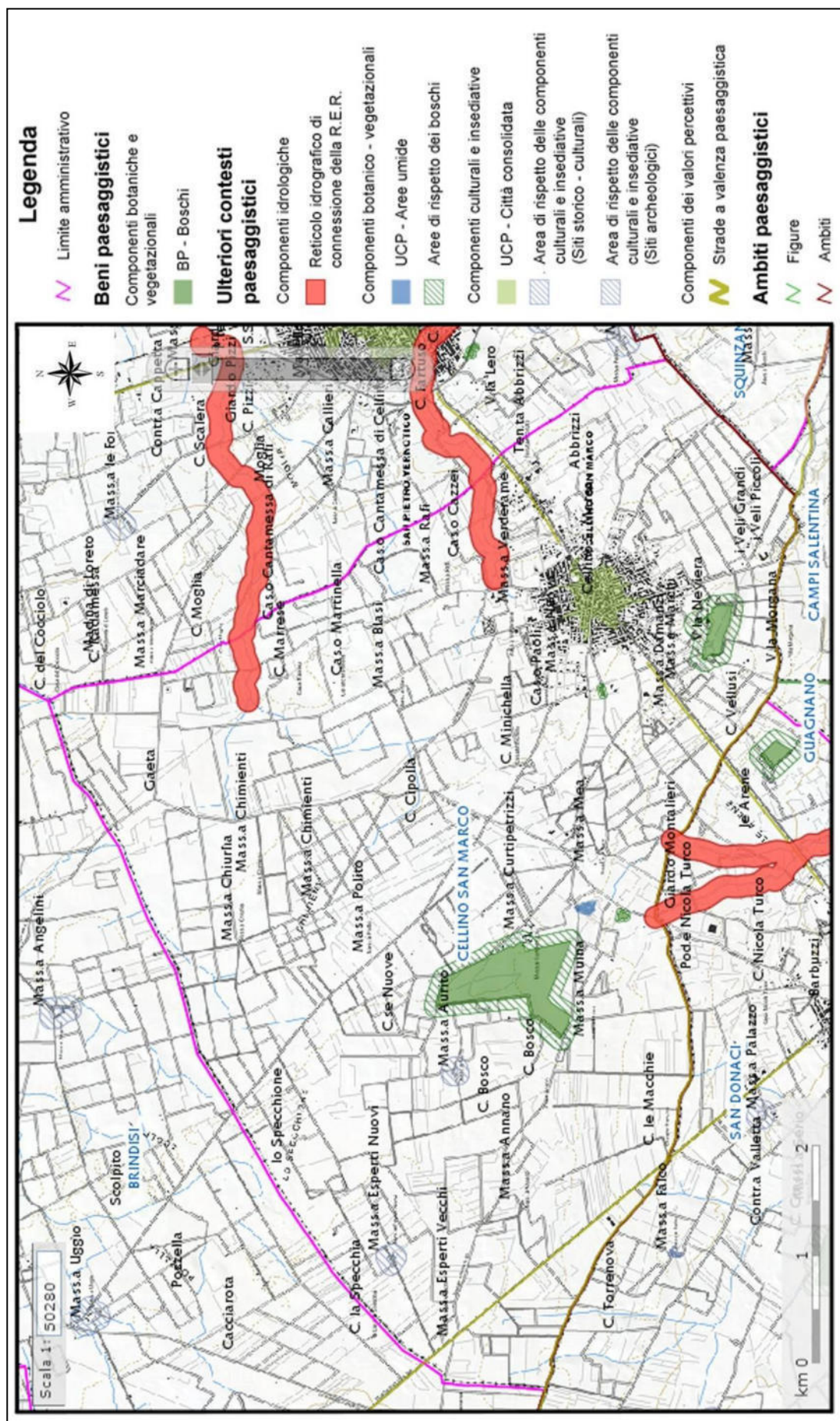


Fig. 13 – Carta degli elementi del paesaggio rilevati dal Piano Paesaggistico Territoriale Regionale – Puglia (PPTR, 2015) sul territorio di Cellino San Marco.

In ossequio al Piano Paesaggistico Territoriale Regionale, il centro urbano di Cellino San Marco è considerato come città consolidata; a Ovest e a Sud dell'abitato, si estendono aree boschive poco estese boschive con le relative fasce di rispetto e una piccola zona umida; tra le componenti culturali e insediative, si distinguono a Ovest alcuni piccoli siti storico - culturali e siti archeologici. A Nord del centro abitato, il canale torrentizio più lontano è l'“*Infocaciucci*”, quello più vicino il “Fosso”, un affluente del primo, considerati come reticolo di connessione della R.E.R. Tra le componenti dei valori percettivi, la via che si allunga a Sud sul confine comunale è una strada a valenza paesaggistica. Infine, sulla medesima strada, ambiti e figure completano il quadro paesaggistico.

12. METODOLOGIA GEORADAR

12.1. La prospezione georadar (*Ground Penetrating Radar*)

Il Georadar (*Ground Penetrating Radar*) è uno strumento di recente introduzione nella esplorazione geofisica, in grado di determinare la presenza di “anomalie dielettriche” in terreni, rocce e strutture.

E' una metodologia di prospezione geofisica che consiste, generalmente, nella trasmissione di impulsi elettromagnetici attraverso antenne di appropriata frequenza e nella misura del tempo di propagazione che l'onda riflessa impiega per raggiungere l'antenna. Attraverso il tempo di propagazione è possibile determinare la distanza della sorgente riflettente.

Questa capacità dipende da cambiamenti dell'impedenza elettrica del terreno e, in particolare, dalla differenza di valori della costante dielettrica tra il mezzo ospitante e l'oggetto ospitato.

Per consentire misurazioni accurate è necessario che gli impulsi siano brevi e che la velocità di propagazione nel mezzo sia abbastanza costante.

La propagazione delle onde elettromagnetiche nel mezzo viene governata da due fondamentali caratteristiche petrofisiche che sono: la conduttività e la percettività relativa.

La conduttività elettrica σ (mS/m) o il suo inverso, cioè la resistività ρ (Ohm $\times$ m), regola l'attenuazione del segnale al punto tale che non consente la riflessione.

La percettività dielettrica relativa o costante dielettrica del mezzo (k) regola la velocità del segnale.

Le onde elettromagnetiche ricevute, contenenti segnali riflessi, vengono acquisite digitalmente tramite computer. Esse vengono visualizzate, secondo sezioni di tempo, lungo i profili. Questi vengono successivamente elaborati attraverso filtraggi, deconvoluzioni, migrazioni, ecc. e poi interpretati.

Il *processing* dei dati radar è la parte più impegnativa del rilievo georadar. Per una buona interpretazione è importante il “filtraggio” che tende ad esaltare alcune caratteristiche e/o ad eliminare segnali di disturbo con l’obiettivo di migliorare l’immagine del rilievo.

Il filtraggio viene eseguito per rimuovere segnali provenienti da oggetti piccoli di non interesse o da disturbi esterni, che in genere sono distinguibili in quanto si caratterizzano per un contenuto in frequenza differente dall’insieme dei segnali.

Un rilievo GPR deve essere preparato, nel senso che deve essere eseguita una serie di attività finalizzate ad ottimizzare il rilievo stesso. Perciò, si devono definire:

- l’estensione dell’area da investigare;
- la frequenza delle antenne che governa la risoluzione lungo le tracce, nonché la profondità di penetrazione.

12.2. Schema di funzionamento

Lo strumento è rappresentato da un’antenna costituita da un trasmettitore di segnale e da un ricevitore. Le fasi operative sono di seguito descritte.

- 1) Il generatore invia, attraverso le antenne, delle onde elettromagnetiche (impulso);
- 2) L’impulso attraversa il mezzo a contatto e, incontrando una struttura o un oggetto con contrasto dielettrico, viene in parte riflesso verso la superficie di contatto e, in parte, continua ad attraversare il mezzo;
- 3) Appena ricevuto il segnale di *start*, la ricevente raccoglie un campione e lo invia all’unità di controllo;
- 4) Col ripetersi dei suddetti punti in modo continuo, ma secondo una frequenza di campionamento ben precisa e prestabilita, l’unità di controllo raccoglie tutti i campioni di una traccia;
- 5) Quando l’intera traccia è campionata, l’unità di controllo la invia al computer dove viene visualizzata.

Le onde elettromagnetiche di ritorno, acquisite digitalmente, vengono poi elaborate e interpretate.

L’elaborazione dei radargrammi, ottenuta con il *software* “*Reflex*”, è consistita nella correzione topografica e nell’applicazione di una serie di filtri che ne hanno esaltato le caratteristiche. La stessa banda di colore, che viene sostituita alla registrazione monocromatica, contribuisce a una migliore visualizzazione dei “disturbi”.

L'indagine è stata eseguita utilizzando una strumentazione "RIS MF HI-MOD#1" della IDS con antenna da 600 MHz.

Dall'interpretazione delle sezioni è possibile riconoscere delle anomalie, aventi caratteristiche dielettriche nettamente distinte rispetto all'ambiente circostante e riconosciute da chiari segnali iperboliche.

Come già accennato, il georadar è un'apparecchiatura ricetrasmittente in grado di inviare un impulso multifrequenza nel sottosuolo e di ricevere le riflessioni che si generano in corrispondenza delle variazioni delle caratteristiche elettriche. E' importante sottolineare che le prestazioni del sistema sono influenzate dalla natura e dalle condizioni del sottosuolo investigato. In generale, si può affermare che più il sottosuolo è omogeneo, migliore è la percezione delle anomalie in esso contenute. Le peggiori prestazioni si ottengono nei terreni saturi, specialmente in quelli argillosi.

12.3. Taratura dei dati (velocità di propagazione)

La determinazione dei valori della velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel terreno è cruciale per l'interpretazione dei dati perché consente la ricostruzione di sezioni interpretative. L'operazione infatti serve a convertire i tempi in distanze o profondità ed è quindi indispensabile per dare un significato logico alla prospezione.

È stata eseguita una taratura indiretta su base strumentale, utilizzando le riflessioni di forma iperbolica la cui presenza è associata a quella di bersagli nella struttura o nel terreno da investigare. La forma delle iperboli è infatti descrivibile con una equazione nella quale compare la velocità di propagazione. Relativamente ai radargrammi allegati, si evidenzia che:

- 1) durante l'esecuzione delle prospezioni radar è stato utilizzato un profilo di amplificazione definito *in situ*, valutando alcuni parametri come l'attenuazione media, la costante dielettrica, la velocità di strisciata, ecc.;
- 2) le profondità sono espresse in unità di tempo (nanosecondi) e non in unità di lunghezza, poiché queste ultime sarebbero imprecise, dato che l'eventuale presenza di ipogei o intercapedini d'aria altererebbe i percorsi di propagazione delle onde;
- 3) l'intervallo *marker* è espresso in metri;
- 4) le strisciate si leggono da sinistra (inizio) verso destra (fine);
- 5) nelle strisciate, lungo l'asse delle ordinate, sono riportati i tempi di propagazione delle onde e la profondità estimativa.

13. RILIEVI GEORADAR ESEGUITI NEL NUCLEO DEL CENTRO URBANO

In data 5 marzo 2019, la Società Geoprove s.r.l. con sede legale in via 2 Giugno n. 2 a Ruffano, in provincia di Lecce e sede operativa nella Zona Industriale al lotto n. 26 del medesimo comune, ha eseguito rilievi lungo alcune strade del centro storico con la tecnica del georadar a onde elettromagnetiche, al fine di individuare con questa indagine indiretta l'eventuale presenza di cavità sotterranee le quali, secondo le testimonianze orali della comunità cellinese, corrisponderebbero a luoghi utilizzati per due principali scopi: il primo, come rifugio di colonie di briganti che popolavano il paese subito dopo l'Unità d'Italia; il secondo, come frantoi ipogei.

Al fine di eseguire *in loco* tali investigazioni, l'Assessore all'Urbanistica del Comune di Cellino San Marco, l'Arch. Dott. Vincenzo Panelli che ha collaborato alla redazione del precedente Piano Urbanistico Generale (PUG adottato con D.C.C. n. 5/2010) e la succitata Società, rappresentata dall'Amministratore Dott. Geol. Marcello De Donatis e dagli operatori Dott. Geol. Biagio Ciardo, Dott. Manuel Manca e dal Ph.D Geol. Francesco Forte, sono convenuti nella piazza centrale "Aldo Moro" del medesimo comune.

Dopo alcuni brevi colloqui con la gente locale, incentrati sulla richiesta di informazioni sulla probabile esistenza di tali ipogei, gli operatori di Geoprove e l'Arch. Panelli, opportunamente attrezzati con la strumentazione georadar, hanno percorso le seguenti strade del centro storico (Fig. 14): via G. Di Vittorio; largo Palazzo; piazza A. Moro; via Cavour; via E. Berlinguer; via A. Bolognini; via U. Foscolo; via A. Manzoni; via V. Alfieri; via G. Carducci; via G. Leopardi; passaggio dal punto di partenza; via Montegrappa; via Fiume; via Campi salentina; via San Donaci; piazza Mercato (Figg. 15 e 16); ritorno su via Cavour; svolta a destra su vico Pisacane; via Roma; ritorno in piazza Mercato; svolta a sinistra per via N. Sauro; via Tripoli; svolta a destra per via C. Battisti fino all'incrocio con via Montegrappa e ritorno; di nuovo in Largo Palazzo e in piazza A. Moro (Fig. 17); ritorno su via V. Alfieri, provenendo da via G. Di Vittorio, per percorrere il tratto stradale non coperto da rilievi georadar (Fig. 18); passaggio su via A. Manzoni; via U. Foscolo con tratti di strada a serpentina; uscita ancora su via E. Berlinguer; svolta per via G. Mazzini; via San Marco; svolta per via V. Emanuele II; via G. Pascoli; svolta per via Montenegro; ritorno su via E. Berlinguer per indagare il tratto stradale carente di indagini georadar; svolta ancora su via Cavour per investigare il breve vico Poerio; via M. D'Azeglio.

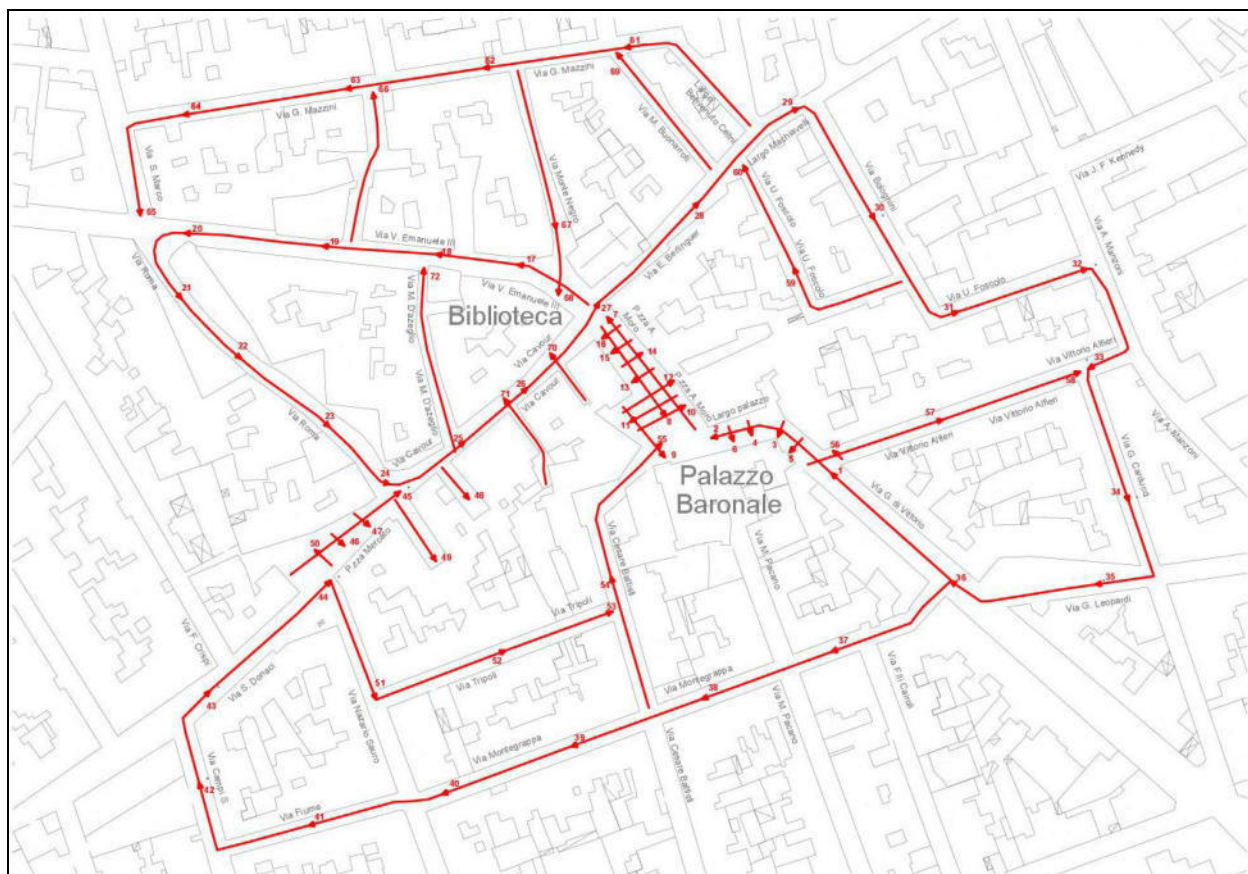




Fig. 16 – Piazza Mercato, all’intersezione con via N. Sauro.



Fig. 17 – Parte meridionale di piazza A. Moro, il cui sottosuolo può essere interessato da probabili ipogei.



Fig. 18 – Segni di cedimento di un tratto di asfalto di via V. Alfieri.

Nel sottosuolo di tutte le strade investigate, la strumentazione georadar segnala interferenze generate dai servizi interrati (fognatura bianca e nera, cavi elettrici, condutture del gas, ecc.); tuttavia, le indagini eseguite nel percorso stabilito ed effettuato, hanno riscontrato su alcune strade, di seguito elencate, alcune anomalie. Dove la riflessione delle onde elettromagnetiche è più evidente nei radargrammi, si è in presenza di cavità ipogee; laddove il segnale è debole o discontinuo, l'anomalia è interpretata come un vuoto riempito o un giunto di strato beante.

- Piazza A. Moro: presenza di una cavità ipogea, lunga circa 52 m e larga 2,4, orientata lungo l'asse longitudinale del piazzale, fino all'intersezione con via Cavour; la profondità della sua volta varia da circa 1 m a 1,4 m. Secondo le testimonianze orali della gente locale, tale passaggio potrebbe proseguire ancor più verso Nord, lungo il medesimo asse e, verso Sud, fino all'unico ingresso a tale cavità, nei pressi del cinema (*vide* radargrammi n. 7 ÷ n. 16);
- Via G. Carducci: presenza di una cavità a forma di “*pozzella*”, la cui volta è ubicata alla profondità di circa 1 m (*vide* radargramma n. 35); l'ipogeo è lungo circa 2 m;
- Via Montegrappa: presenza di un piccolo vuoto certo, la cui volta è localizzata a circa 1,5 m dal piano campagna (*vide* radargramma n. 37); una seconda anomalia, imputabile a un probabile giunto di strato beante, sito in direzione via Fiume, è localizzata a circa 1 m (*vide* radargramma n. 39); entrambe le anomalie sono lunghe circa 2,5 m;

- Via U. Foscolo: presenza di un vuoto, lungo circa 8 m e con una profondità variabile da circa 1 m a circa 1,6 m (*vide* radargramma n. 59);
- Piazza Mercato: nei pressi della Banca Popolare Pugliese (BPP), i radargrammi n. 45 ÷ n. 47 e n. 50 evidenziano un unico e ben certo camminamento, lungo circa 30,70 m e largo 2,6, la cui profondità varia da 1,3 m a circa 1,7 m. La presenza di questo ipogeo è confermata anche da testimonianze orali di persone residenti nei pressi di quel luogo;
- Via V. Alfieri: all'inizio di codesta strada, lasciando alle spalle largo Palazzo e via G. Di Vittorio, si osserva un lieve cedimento del manto stradale (*vide iterum* Fig. 18 e radargrammi n. 56 e n. 57); la profondità del giunto di strato beante sottostante varia da circa 1,6 m a circa 1,8 m e la lunghezza è di circa 18 m;
- Via G. Di Vittorio: il radargramma n. 37 evidenzia una possibile anomalia coincidente con una cavità certa, lunga circa 2,5 m, la cui volta è profonda circa 1 m dal piano campagna; un'altra anomalia, sita vicino a largo Palazzo, imputabile a un piano di strato beante, è lunga circa 12 m e profonda 1,2 m (*vide* radargramma n. 2);
- Largo Palazzo: una possibile anomalia, probabilmente un giunto di strato, è lunga 7,5 m e profonda 1,6 m (*vide* radargramma n. 2);
- Via A. Manzoni: il radargramma n. 33 mette in evidenza una superficie di riflessione, forse interpretabile come un vuoto riempito o un giunto di strato beante, lungo circa 15 m, la cui profondità varia da 1,2 m a circa 1,6 m;
- Via Cavour: il radargramma n. 26 rileva l'esistenza di un unico ipogeo, interrotto due volte da materiale di riempimento; i tre tratti vuoti, andando verso la direzione di piazza A. Moro, sono lunghi 8 m, 7 m e 4 m e hanno una profondità variabile da 1,3 m a 1,4 m. Il radargramma n. 27 riscontra, invece, un'anomalia corrispondente a un vuoto riempito o giunto di strato beante, lungo circa 4 m e profondo 1 m;
- Via Campi salentina: il radargramma n. 43 evidenzia un'anomalia coincidente con un vuoto certo, lungo circa 3,5 m e profondo 1,4 m;
- Via San Donaci: il radargramma n. 43 evidenzia un'anomalia coincidente con un vuoto certo, lungo circa 4,5 m e profondo da 1,7 m a 2 m;
- Via San Marco: il radargramma n. 65 rileva un vuoto avente una lunghezza di circa 3,7 m e una profondità che varia da 1,1 m a 1,4 m;
- Via V. Emanuele II: il radargramma n. 18 evidenzia un vuoto certo, lungo 1,3 m e profondo altrettanto;
- Via E. Berlinguer: il radargramma n. 28 segnala un giunto di strato beante, lungo 5,1 m e profondo 1,5 m.

La planimetria dei luoghi nei quali l'apparecchio georadar potrebbe aver individuato probabili anomalie, consistenti in ipogei di genesi antropica di diverse dimensioni, sia in lunghezza che in larghezza, è rappresentata nella Fig. 19. Per ciò che concerne l'altezza di queste cavità sotterranee, risulta difficile quantificarne un valore preciso, anche attraverso una accurata osservazione dei radargrammi. In questi, si può ben valutare solo il valore della profondità (leggibile sull'asse delle ordinate) alla quale si suppone esservi le volte degli ipogei (*vide* linee di colore rosso), ma non il valore della profondità dei pavimenti dal piano stradale.

Infine, nella planimetria rappresentata a seguito delle indagini georadar, si deduce che i percorsi delle succitate cavità sotterranee potrebbero non essere continui; le possibili interruzioni in vari tratti sarebbero da attribuire alla presenza di materiale (*vide* linee di colore celeste nei radargrammi) con il quale l'uomo ha riempito in parte questi ipogei. Ciò è documentato nelle fotografie mostrate nel successivo paragrafo e in alcune delle strisciate restituite dal georadar (*vide* Allegato).

La tecnica del georadar offre una interpretazione dello stato dei luoghi. Tuttavia, si consiglia di eseguire ulteriori approfondimenti, in fase di progettazione di opere sul territorio comunale, al fine di ottenere un quadro puntuale.

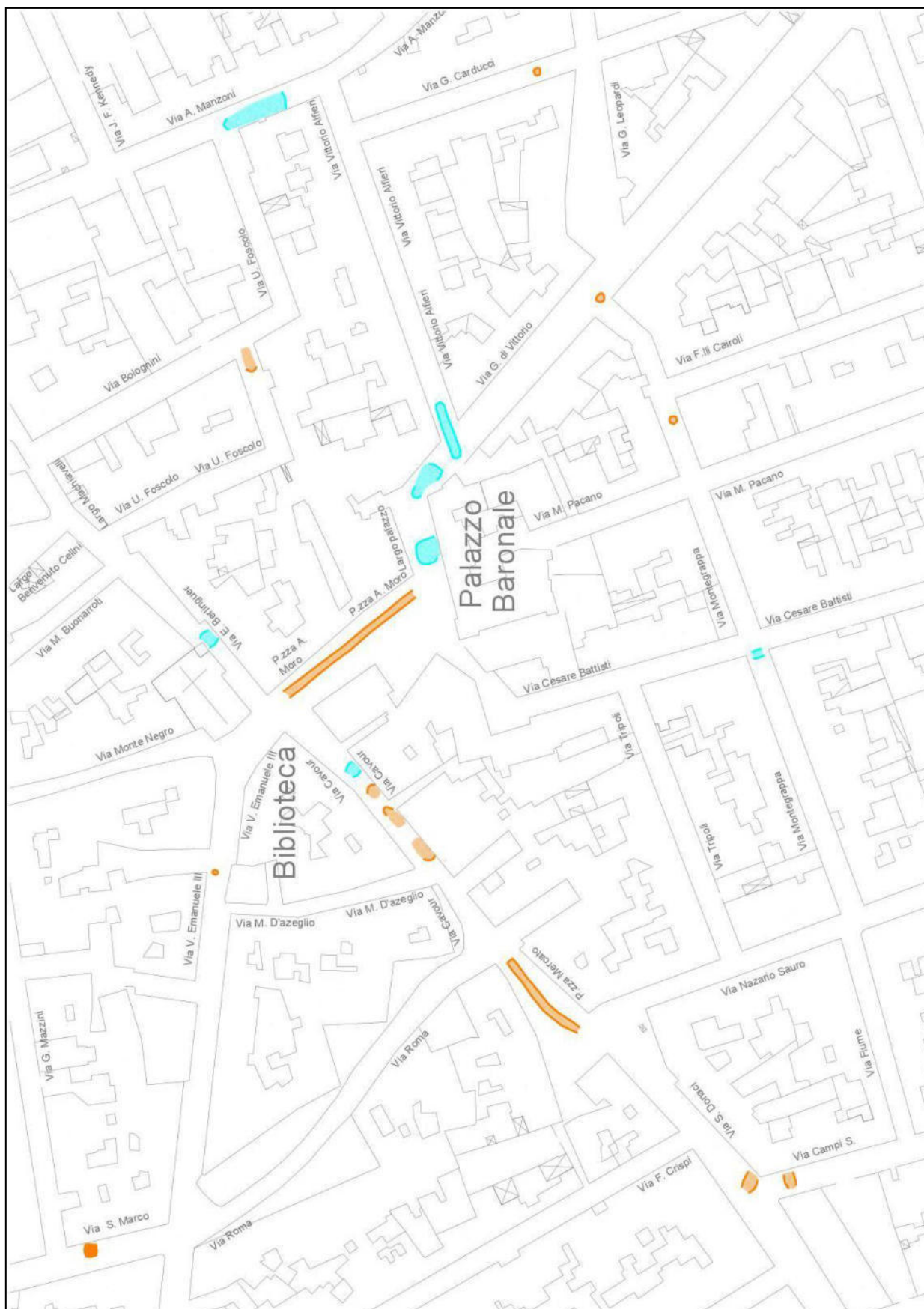


Fig. 19 – Planimetria rappresentativa di tutti i luoghi ove il georadar ha individuato anomalie.

14. ISPEZIONE DIRETTA COMPIUTA IN DUE IPOGEI PRIVATI

In data 8 marzo 2019, l'Arch. Dott. Vincenzo Panelli, la Società Geoprobe s.r.l. rappresentata per la circostanza dal Dott. Manuel Manca e dal Ph.D Geol. Francesco Forte e l'Assessore al Settore Urbanistica del Comune di Cellino San Marco sono convenuti nella piazza A. Moro del medesimo comune, al fine di compiere un sopralluogo in alcune cavità sotterranee accessibili, i cui ingressi sono ubicati su due strade attigue e parallele: il primo, in via G. Di Vittorio, alle coordinate 751507 Est e 4484295 Nord; il secondo, in via M. Pacano, alle coordinate 751492 Est e 4484258 Nord, nel sistema WGS84 zona del Fuso 33 (Fig. 20).



Fig. 20 – Ingressi alle due cavità ipogee private.

Tali ipogei appartengono all'Ing. Schirinzi, il quale ha offerto la propria disponibilità a guidare il gruppo nel corso della ispezione e a fornire spiegazioni e chiarimenti sulla loro natura, sulla origine e sulla funzione, assicurando che avrebbe fornito, in seguito e su richiesta, le planimetrie e le immagini fotografiche dei luoghi sotterranei di Sua proprietà, poiché di quelli probabilmente esistenti e non accessibili, separati dai primi mediante murature in conci tufacei o realizzate in un'unica colata, non si dispone di alcuna documentazione visiva.

Da una prima e rapida osservazione delle fotografie rilasciate dall'Ing. Schirinzi, si intuisce chiaramente che codesti ipogei sono di natura antropica e hanno le volte e le murature ben conservate. Il primo, nel quale si accede da via G. Di Vittorio, rappresenta un luogo un tempo adibito a frantoio (Figg. 21 e 22) con evidenti segni, sulle murature o sulle volte ad arco, di fori ai quali erano ancorati gli attrezzi e i macchinari all'uopo occorrenti; inoltre, da questo ampio vano si accede, attraverso aperture sagomate, a piccole stanze dedicate a vari usi (ripostigli di attrezzi, dormitori) e a nicchie (Figg. 23 e 24).



Fig. 21 – Vista, dall'interno verso la porta di ingresso, dell'ampio vano, un tempo adibito a frantoio ipogeo (Foto: Schirinzi).



Fig. 22 – Vista, dalla porta di ingresso verso l'interno, dell'ampio vano, un tempo adibito a frantoio ipogeo (Foto: Schirinzi).



Fig. 23 – Piccola stanza, a cui si accede lateralmente dall'ampio vano centrale, adibita a svariati usi. Si tratta probabilmente di una galleria interrotta da una parete di conci tufacei (Foto: Schirinzi).



Fig. 24 – Un'altra piccola stanza, a cui si accede lateralmente dall'ampio vano centrale, adibita a diversi usi. La parete frontale, formata ai bordi esterni da conci tufacei e centralmente da un'unica colata di materiale a diversa pezzatura, interrompe la prosecuzione di una probabile galleria (Foto: Schirinzi).

Il secondo, nel quale si accede da via M. Pacano attraverso un corridoio a cielo aperto e separato da un vetusto cinema con annessi servizi – da tempo in disuso e ora di proprietà del succitato ingegnere – mediante un muro, era adibito a discoteca (Fig. 25). Una parte di parete di un ampio vano di codesto luogo ludico esibiva effigi risalenti al periodo del suo utilizzo; un'altra parete, contigua, mostrava invece una parte murata di recente con conci per evitare l'ingresso di persone da spazi esterni privati. Inoltre, una larga rampa in legno, poggiante su impalcature e dipartente dal centro di codesta larga stanza, si dirige verso la parete opposta (Fig. 26) che separa l'interno della discoteca dall'esterno di via M. Pacano.



Fig. 25 – Vista, dalla rampa in legno verso l'interno, dell'ampio vano, un tempo adibito a discoteca. Sulle pareti si osservano resti di effigi risalenti al periodo del suo utilizzo (Foto: Schirinzi).



Fig. 26 – Vista, dall'interno verso la rampa, dell'ampio vano, un tempo adibito a discoteca. Sulla parete sinistra si osservano le porte di ingresso a bagni privati (Foto: Schirinzi).

15. IL GAS RADON

15.1. Origine

Il radon (Rn-222) è un gas radioattivo incolore e inodore, di origine naturale. Esso è un prodotto di decadimento dell'isotopo 238 dell'uranio (U-238), un elemento primordiale distribuito ovunque, anche se in concentrazione variabile, nella crosta terrestre. A causa del suo tempo di dimezzamento, relativamente lungo (3,8 giorni), tende ad allontanarsi dal materiale nel quale si è formato per diffondersi nel sottosuolo e nell'acqua e, poi, risalire in superficie attraverso le fratture e i pori del terreno. All'aperto il radon si volatilizza rapidamente ma, in presenza di fessurazioni e/o crepe delle fondazioni, esso è in grado di insinuarsi in ambienti chiusi dove si riconcentra a causa del ridotto ricambio di aria. Anche i materiali da costruzione ad alto contenuto di U-238, come tufi e pozzolane, rappresentano una possibile fonte di elevata concentrazione di gas radon *indoor*.

15.2. Effetti sull'uomo e sull'ambiente

Il radon, durante il decadimento, produce una serie di elementi radioattivi solidi (i cosiddetti "figli" del radon) i quali, legandosi al pulviscolo atmosferico, possono essere inalati e irradiare il tessuto polmonare prima di essere rimossi da processi naturali di pulizia bronchiale. Secondo una stima effettuata dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), il radon è la seconda causa, dopo il fumo, di cancro ai polmoni con un rischio di incidenza proporzionale alla sua concentrazione e al tempo trascorso negli ambienti dove esso è presente. In una stima dell'Istituto Superiore della Sanità del 2010, l'esposizione al radon in Italia è responsabile di circa 3200 casi di tumore polmonare all'anno: sono quindi attribuibili al radon il 10% di tutti i decessi per tumore polmonare con una percentuale che va dal 4% al 16%, da regione a regione, in relazione ai livelli medi di concentrazione di radon.

15.3. Normativa di riferimento

Ad oggi, il D.Lgs. n. 230/95 e ss.mm.ii nulla prevedono circa la concentrazione di radon nelle abitazioni; per i luoghi di lavoro e per le scuole dell'obbligo è fissato un livello di attività di radon di 500 Bq/m³ in un anno. Il 5 dicembre 2013 il Consiglio dell'Unione Europea ha emanato la Direttiva 2013/59/EURATOM per contrastare i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti; con

essa si prevede che gli Stati Membri adottino per i luoghi chiusi un livello di riferimento di concentrazione di radon non superiore a 300 Bq/m³.

Con la L.R. del 3 novembre 2016 n. 30 e ss.mm.ii. apportate dall'articolo 25 della Legge Regionale 9 agosto 2017 n. 36, la Regione Puglia ha legiferato nel merito delle "Norme in materia di riduzione dalle esposizioni alla radioattività naturale derivante dal gas radon in ambiente confinato".

La stessa norma regionale fissa le soglie di esposizione al gas radon per le nuove costruzioni e per gli edifici esistenti. In particolare:

- a) per gli edifici strategici di cui al D.M. 14 gennaio 2008 e destinati all'istruzione, compresi gli asili nido e le scuole materne, la soglia di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso e in tutti i locali dell'immobile interessato, non può superare i 300 Bq/m³, misurato con strumentazione passiva;
- b) per gli interrati, seminterrati e locali a piano terra degli edifici diversi da quelli di cui alla lettera a) e aperti al pubblico, con esclusione di quelli residenziali e dei vani tecnici isolati al servizio di impianti a rete, la soglia di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso non può superare 300 Bq/m³, misurato con strumentazione passiva. Sono esentati dagli obblighi di misurazione i locali a piano terra con superficie non superiore a 20 m² salvo che, in virtù di collegamento strutturale con altri locali, non derivi il superamento del limite dimensionale previsto per l'esenzione, purché dotati di adeguata ventilazione.

15.4. La misura del radon

A causa della sua natura gassosa, il radon mostra una elevata variabilità di concentrazione soprattutto in ambienti chiusi. La sua concentrazione può variare tra il giorno e la notte, tra l'estate e l'inverno e, pure, tra un ambiente e l'altro di una stessa abitazione. Per questa sua caratteristica la normativa prevede che la misura di radon sia riferita a un anno solare e che sia eseguita con dosimetri a integrazione. Sempre a causa della sua notevole variabilità in concentrazione, stime basate su valori medi rilevati in altri edifici della stessa zona risultano poco affidabili. Stesso principio vale per le misure di radon nel suolo, in quanto il gas che penetra nell'edificio è fortemente influenzato dalle caratteristiche edilizie piuttosto che dalla quantità di radon presente nel terreno.

Per un rapido *screening*, al fine di individuare la via di ingresso del radon all'interno di un edificio o monitorare l'efficacia di azioni di risanamento, è possibile eseguire misure istantanee o in continuo con strumenti passivi o attivi nella consapevolezza della loro limitata finalità.

15.5. Il radon in Puglia

In Puglia il radon, presente all'interno delle abitazioni, proviene essenzialmente dal sottosuolo e, in parte, dai materiali da costruzione e dall'acqua. Il basamento di questa regione è costituito da un substrato calcareo risalente al Cretaceo che affiora nella Penisola salentina, sul Gargano e sulle Murge. Esso ha una origine sedimentaria e ha subito un metamorfismo in seguito a variazioni di pressione e temperatura, causate dagli eventi tettonici di quel periodo.

La pietra leccese, ad esempio, è un calcare marnoso organogeno il cui principale componente è il carbonato di calcio, presente sotto forma di cemento calcitico di granuli calcarei, costituiti a partire dalla fossilizzazione di organismi planctonici e bentonici.

Il carsismo influisce sensibilmente sul processo di esalazione del radon attraverso una rete sotterranea di cavità. Questo gas, trasportato dall'acqua e dall'aria, percorre grandi distanze e viene liberato all'esterno grazie alla presenza di numerose fratture. Anche rocce calcaree, con un contenuto relativamente basso di uranio, possono liberare notevoli quantità di radon.

Nell'ambito della campagna nazionale radon, realizzata nei primi anni '90 dall'Istituto Superiore della Sanità, in collaborazione con gli Assessorati alla Sanità delle Regioni, sono state eseguite misure della concentrazione di radon (Rn-222) su un campione statistico, rappresentativo sia a livello regionale che come parte del campione statistico nazionale, di 310 abitazioni appartenenti a nove comuni. Il campione statistico, rappresentativo di tutti i comuni della regione Puglia, è costituito da Bari, Rutigliano (BA), Foggia, Troia (FG), Sant'Agata di Puglia (FG), Taranto, Lecce, Castrì di Lecce (LE) e Latiano (BR). Dai risultati ottenuti è stato possibile stabilire il livello medio annuo della regione Puglia pari a 55 Bq/m^3 e il livello medio nazionale pari a 70 Bq/m^3 . In particolare, nelle aree a Sud di Cellino San Marco, vale a dire nei comuni leccesi di Squinzano e Campi salentina, il monitoraggio eseguito da ARPA Puglia evidenzia intervalli di valori, rispettivamente, variabili da 33 a 182 Bq/m^3 e da 54 a 577 Bq/m^3 . Al momento, nel comune in esame, il suddetto Ente non ha compiuto alcun controllo.

15.6. Il radon nel comune di Cellino San Marco

Come sopra menzionato, la radioattività ambientale è legata essenzialmente alle caratteristiche geologiche dei luoghi, mentre la campagna di misurazione compiuta nei singoli edifici è da considerarsi poco rappresentativa delle reali condizioni di rischio: in un'area che è nota per il rischio radon, due abitazioni, costruite con materiali e tecniche diverse e occupate da famiglie a diversi stili di vita, presentano valori di inquinamento *indoor* fortemente differenziati.

Per una corretta gestione del rischio da radon in un'area, risulta quindi necessario procedere alla redazione di mappe, basate su valutazioni che implicino considerazioni sulle caratteristiche geologiche locali e, in particolare:

- sul dominio geologico che condiziona i litotipi presenti;
- sulle caratteristiche di permeabilità dei terreni;
- sulla presenza di faglie e fratture locali e/o regionali che possono convogliare grandi quantità di gas da notevoli profondità;
- sulla presenza di cavità sotterranee;
- sullo spessore e sulla natura della coltre di copertura dei terreni.

Secondo le indicazioni dello *SRPI* (*Swedish Radiation Protection Institute*), le aree possono essere individuate su tre classi di rischio caratterizzate da alta, normale e bassa concentrazione (Fig. 7), per le quali devono essere predisposte appropriate soluzioni progettuali in grado di ottenere livelli di inquinamento *indoor* compatibili con le prescrizioni di salubrità emanate dagli Organismi Sanitari Internazionali come, ad esempio, l'Organizzazione Mondiale della Sanità.

Area di sedime	Concentrazione (Bq/m ³)	Tipo di protezione
Aree ad alta concentrazione	≥ 50.000	Protezione <i>Full</i>
Aree a normale concentrazione	$10.000 \div 49.999$	Protezione <i>Basic</i>
Aree a bassa concentrazione	≤ 9.999	Nessuna Protezione

Tab. 7 – Classificazione delle aree in base ai valori di concentrazione del gas radon.

In via del tutto preliminare e qualitativa, considerando le già descritte caratteristiche fisiche del territorio, ad esempio quelle lito-strutturali (presenza della paleofaglia “S. Elia”; stratificazione e stato di fratturazione e/o fessurazione dei depositi sabbioso - calcarei e dei banchi arenacei e calcarenitici; presenza di cavità sotterranee nel centro urbano), quelle di permeabilità (porosità variabile dei Depositi Marini Terrazzati e dei litotipi sabbiosi della Formazione di Gallipoli; fratturazione, fessurazione e carsismo dei litotipi calcarenitici) e tenendo conto dei dati bibliografici sui comuni limitrofi e sul territorio pugliese, disponibili sul sito *web* di ARPA Puglia, si può grossomodo stimare, per Cellino San Marco, un rischio medio - alto da gas radon, con concentrazione nel sottosuolo variabile da normale ad alta. Tuttavia, per una esatta valutazione quantitativa, si consiglia di eseguire una campagna di misurazioni in tutte quelle aree nelle quali le succitate caratteristiche geologiche sono particolarmente evidenti.

15.7. Prevenzione dal gas radon e tecniche di risanamento

La migliore prevenzione per impedire o ridurre la possibilità di ingresso del radon negli edifici è quella di adottare particolari accorgimenti tecnici in fase di costruzione, mentre il risanamento degli edifici esistenti è più efficace nella maniera commisurata alla loro generale ristrutturazione. Il comitato scientifico del Piano Nazionale Radon, nel 2008, ha presentato agli enti preposti un documento con il quale si raccomanda di introdurre nei piani urbanistici e nei regolamenti edilizi prescrizioni che considerino accorgimenti volti a ridurre l'ingresso del radon negli edifici. La stessa Direttiva 2013/59/EURATOM ha previsto la possibilità per gli Stati Membri di adottare obblighi specifici o restrizioni d'uso per un elenco di materiali da costruzione, qualora questi comportino all'individuo dosi superiori al livello di riferimento.

15.8. Adozione di misure per la mitigazione del rischio da radon

La situazione geologica locale, l'interazione tra edificio e sito, l'uso di particolari materiali da costruzione e le tipologie edilizie sono, perciò, gli elementi più rilevanti ai fini della valutazione dell'influenza del radon sulla qualità dell'aria interna alle abitazioni e agli edifici in genere. Nella appendice 1 allegata alla presente relazione sono riportate alcune soluzioni costruttive da adottare ai fini della riduzione dei livelli di radon e un abaco contenente i materiali da costruzione che sprigionano tale gas.

15.9. Adempimenti per le nuove costruzioni

Nella Legge Regionale n. 30 del 03 novembre 2016, Art. 3 “Livelli limite di concentrazione per le nuove costruzioni” è stabilito che:

Sino all'approvazione del Piano regionale radon e agli adeguamenti degli strumenti urbanistici comunali di cui all'articolo 2, comma 5, e salvo limiti di concentrazione più restrittivi previsti dalla legislazione nazionale, ovvero limiti specifici previsti per particolari attività di lavoro, per le nuove costruzioni, eccetto i vani tecnici isolati o a servizio di impianti a rete, il livello limite di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso, e in tutti i locali dell'immobile interessato, non può superare 300 Bq/mc, misurato con strumentazione passiva.

2. Il progetto edilizio per le nuove costruzioni di cui al comma 1 deve contenere i dati necessari a dimostrare la bassa probabilità di accumulo di radon nei locali dell'edificio, ed in particolare una relazione tecnica dettagliata contenente:

- a. indicazioni sulla tipologia di suolo e sottosuolo;
- b. indicazioni sui materiali impiegati per la costruzione;

c. soluzioni tecniche adeguate, in relazione alle tipologie di suolo e di materiali impiegati per la costruzione, idonee ad evitare l'accumulo di gas radon nei diversi locali.

3. Entro e non oltre sei mesi dal deposito della segnalazione certificata presentata ai fini della agibilità devono essere avviate su ogni locale della nuova costruzione le misurazioni del livello di concentrazione, con le modalità previste dall'articolo 4, commi 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

4. Le caratteristiche tecniche derivanti dalla relazione di cui al comma 2 devono essere mantenute in caso di successivi interventi edilizi.

15.10. Adempimenti per gli edifici esistenti

Sino all'approvazione del Piano regionale radon e salvo limiti di concentrazione più restrittivi previsti dalla legislazione nazionale, ovvero limiti specifici previsti per particolari attività di lavoro, per gli edifici esistenti, definiti dalle lettere a) e b), sono fissati i livelli limite di riferimento, misurati con un valore medio di concentrazione su un periodo annuale suddiviso in due semestri primaverile-estivo e autunnale-invernale:

a) per gli edifici destinati all'istruzione, compresi gli asili nido e le scuole materne, il livello limite di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso, e in tutti i locali dell'immobile interessato, non può superare i 300 Bq/mc, misurato con strumentazione passiva;

b) per gli edifici non destinati all'istruzione, e aperti al pubblico con esclusione dei residenziali e dei vani tecnici isolati al servizio di impianti a rete, il livello limite di riferimento per concentrazione di attività di gas radon in ambiente chiuso, e in tutti i locali dell'immobile interessato, non può superare 300 Bq/mc, misurato con strumentazione passiva.

2. Gli esercenti attività di cui al comma 1, provvedono, entro e non oltre novanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, ad avviare le misurazioni sul livello di concentrazione di attività del gas radon da svolgere su base annuale suddiviso in due distinti semestri (primavera-estate e autunno-inverno) e a trasmettere gli esiti entro un mese dalla conclusione del rilevamento al comune interessato e ad ARPA Puglia. In caso di mancata trasmissione delle misurazioni entro diciotto mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge, il comune provvede a intimare con ordinanza la trasmissione delle misurazioni svolte, concedendo un termine non superiore a trenta giorni, la cui eventuale e infruttuosa scadenza comporta la sospensione per dettato di legge della certificazione di agibilità.

3. Qualora all'esito delle misurazioni previste dal comma 2, il livello di concentrazione dovesse risultare superiore al limite fissato dal comma 1, il proprietario dell'immobile presenta al comune interessato, entro e non oltre sessanta giorni, un piano di risanamento al quale siano

allegati tutti i contenuti formali e sostanziali per la realizzazione delle opere previste, con relativa proposta di crono-programma di realizzazione delle opere le cui previsioni non potranno superare un anno. Il piano di risanamento è approvato dal comune entro e non oltre sessanta giorni dalla sua presentazione, previa richiesta di esame e parere alla ASL competente.

4. Tranne il caso in cui è previsto il rilascio del permesso di costruire, decorsi sessanta giorni dalla presentazione del piano di risanamento, senza che l'autorità comunale abbia notificato osservazioni, ovvero senza che abbia inibito con provvedimento espresso la realizzazione degli interventi di risanamento, il proprietario dell'immobile deve avviare l'esecuzione delle opere previste, con le modalità e i termini contenuti nella stessa proposta di piano di risanamento presentata, purché compatibili con quelli previsti dalla presente legge e dalla normativa in vigore. In ogni caso la realizzazione delle opere deve avvenire osservando le prescrizioni previste dai commi 5, 6, 7 e 8.

5. Le opere previste dal piano di risanamento, approvato con procedimento di cui ai commi 2 e 3, devono essere concluse nel termine indicato dall'autorità comunale con lo stesso atto di approvazione, e comunque in un termine non superiore a quello previsto dal comma 3, salvo proroga per un tempo non superiore a ulteriori sei mesi per comprovati motivi oggettivi.

6. Terminati i lavori previsti dal piano di risanamento, il proprietario dell'immobile effettua le nuove misurazioni di concentrazione di attività di gas radon su base annuale suddiviso in due distinti semestri (primavera-estate e autunno-inverno) e dichiara al comune, sotto la responsabilità di un tecnico abilitato alle misurazioni di attività radon, il rispetto dei limiti previsti dalla presente legge.

7. Il mancato rispetto dei termini e delle modalità di risanamento dichiarate nel relativo piano presentato, determina la sospensione della certificazione di agibilità per dettato di legge, e con provvedimento espresso può essere disposto il conseguente sgombero forzoso dell'immobile. La sospensione della certificazione di agibilità può essere revocata solo con provvedimento espresso, dopo puntuali verifiche sull'osservanza dei livelli di concentrazione annuale di attività di gas radon e in ogni caso dopo l'espletamento di tutte le attività consequenziali tecnico-amministrative stabilite dall'ordinamento statale in materia di agibilità.

8. Qualora il proprietario dell'immobile fosse lo stesso comune, il soggetto passivo degli obblighi derivanti dalla presente legge è il dirigente/datore di lavoro dello stesso ente.

16. CONCLUSIONI

Dagli studi di letteratura e dai risultati delle varie campagne di indagini geognostiche compiute in diverse località del territorio comunale di Cellino San Marco per diverse progettazioni ingegneristiche e consistenti in prove indirette e dirette, come pure in prove di laboratorio, si evince che i terreni che caratterizzano il suddetto territorio appartengono alla Formazione delle Calcareniti del Salento, alla sovrastante Formazione di Gallipoli e ai Depositi Marini Terrazzati – ben addensati e con buone caratteristiche fisico-meccaniche – che poggiano su quest’ultima. I calcari e i calcari dolomitici cretacici che rappresentano il basamento roccioso carbonatico non affiorano in superficie.

Dal punto di vista morfologico, l’energia del rilievo è bassa e le forme del territorio sono pressoché pianeggianti, strettamente correlate a un assetto spesso tabulare (a piccola scala) o, blandamente, plicativo (a grande scala). L’unico elemento morfotettonico, avente allineamento Sud-Est – Nord-Ovest, è rappresentato dalla “Serra S. Elia” che si estende dai territori di Trepuzzi, Squinzano e Campi salentina, fino alla culminazione nel territorio cellinese. Questa scarpata di origine tettonica (faglia), generata dalla rottura e successiva dislocazione del basamento calcareo cretacico, è stata rimodellata nel Pleistocene dall’azione erosiva del mare che ha lasciato, in seguito al suo ritiro, i depositi sabbioso-calcarenitici. Quasi tutto il territorio comunale è coperto da superfici di modellamento subaereo, corrispondenti a vecchie superfici di abrasione marina, sulle quali si individuano orli di terrazzo morfologico che si identificano con scarpate di vecchie linee di riva, modellate dal mare nella fase di trasgressione pleistocenica.

L’idrografia è rappresentata da corsi d’acqua episodici, alcuni caratterizzati da piccole ripe di erosione, sparsi qua e là sul territorio comunale; in essi, il deflusso dell’acqua avviene solo nei periodi piovosi, in particolare in autunno e in inverno. I più importanti sono il Canale Fosso, a Nord dell’abitato di Cellino San Marco e il Canale “*Infocaciucci*”, ancora più a Nord. Il primo rappresenta un affluente del secondo nel territorio di San Pietro Vernotico.

Il territorio comunale è considerato stabile sotto l’aspetto sismo-tettonico e si escludono a priori dissesti geologici dovuti a rotture di Unità litotecniche nel sottosuolo in seguito a movimenti tellurici. La classificazione nazionale considera la zona fra quelle con livelli di scarsa sismicità per quanto riguarda l’accelerazione sismica nel sottosuolo investigato. Pertanto, in tale area risulta trascurabile il fattore di pericolosità generato da eventi sismici.

Locali falde superficiali “sospese” occupano i Depositi Marini Terrazzati. Le misure del livello piezometrico indicano una soggiacenza minima di 1,50 – 1,80 m dal piano campagna, fino a una profondità di 3,20 – 3,75 m. Altri livelli piezometrici variano da 4 m fino a 10 – 11 m. Le

caratteristiche idrogeologiche generali evidenziano l'esistenza di una falda idrica profonda intorno a 50 – 55 m dal piano campagna. La soggiacenza è variabile in relazione alla quota del terreno; tuttavia, si stima che il carico piezometrico sia di 2,5 – 3 m sul livello medio del mare.

Masillo (2008) evidenzia un quadro generale di possibile utilizzo del territorio in funzione delle caratteristiche meccaniche dei litotipi superficiali e profondi. In essa sono messi in evidenza tre litotipi con caratteristiche e comportamenti molto simili: 1) terreni sabbioso – argillosi, a bassa permeabilità, da plastici a compatti a seconda del grado di umidità, sui quali si dovranno accertare obbligatoriamente gli spessori e le caratteristiche meccaniche delle Unità presenti, per mezzo di indagini geognostiche e prove di laboratorio su campioni indisturbati, atti a verificare l'angolo di attrito interno, il coefficiente di consolidazione volumetrico, la resistenza al taglio, la coesione, la granulometria, i limiti di *Atterberg*, la presenza della falda; 2) terreni sabbiosi da sciolti a poco addensati con basso angolo di attrito interno e basso valore di resistenza al taglio, sui quali si dovranno accertare obbligatoriamente gli spessori e le caratteristiche meccaniche delle Unità presenti, per mezzo di indagini geognostiche e prove di laboratorio su campioni indisturbati, atti a verificare l'angolo di attrito interno, il coefficiente di consolidazione volumetrico, la resistenza al taglio, la coesione, la granulometria, i limiti di *Atterberg*, la presenza della falda; 3) terreni mediamente cementati calcarenitici con presenza di macro- e microfossili. Il basso angolo di attrito interno e la modesta capacità portante di questi terreni obbliga l'esecuzione di indagini geognostiche atte a valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni di sedime. Rispetto ai terreni dei gruppi 1) e 2), i terreni del gruppo 3), grazie all'alternanza di strati più addensati e strati sciolti, permettono la resistenza a carichi un po' più elevati. Anche in questo caso è, però, preferibile la prescrizione di indagini geognostiche preliminari *in situ* con l'esecuzione di accertamenti delle caratteristiche meccaniche in modo più speditivo (sismica a rifrazione, prove *SPT* in fori di sondaggio, ecc.).

La tecnica del georadar (*Ground Penetrating Radar*) a onde elettromagnetiche, applicata sulle strade del nucleo del centro storico, ha consentito di individuare la presenza di alcune certe e significative cavità sotterranee, di origine antropica, lungo piazza A. Moro, piazza Mercato, via Cavour e di altre più piccole, anch'esse di natura antropica, in via San Donaci, via Campi salentina, via San Marco, via V. Emanuele II, via G. Di Vittorio, via Montegrappa, via U. Foscolo. Esse, secondo le testimonianze orali della comunità cellinese, corrisponderebbero a luoghi utilizzati un tempo per due principali scopi: il primo, come rifugio di colonie di briganti che popolavano il paese subito dopo l'Unità d'Italia; il secondo, come frantoi ipogei. Il georadar ha individuato anche altre anomalie, interpretate come vuoti riempiti o giunti di strato beanti di svariate dimensioni, in via Cavour, via E. Berlinguer, largo Palazzo, via G. Di Vittorio, via V.

Alfieri, via A. Manzoni. Per ciò che concerne l'altezza delle cavità sotterranee, risulta difficile valutarne un valore preciso, anche attraverso una accurata osservazione delle immagini radar. In queste, si può ben valutare solo il valore della profondità alla quale si suppone esservi le volte degli ipogei, ma non il valore della profondità dei pavimenti dal piano stradale.

La tecnica GPR (*Ground Penetrating Radar*) offre una interpretazione dello stato dei luoghi. Tuttavia, si consiglia di eseguire ulteriori approfondimenti, in fase di progettazione di opere sul territorio comunale, al fine di ottenere un quadro puntuale.

A differenza delle cavità individuate tramite georadar, due ipogei, i cui ingressi sono ubicati su due diverse strade, attigue e parallele, sono accessibili al pubblico. Il primo, che rappresenta un vecchio frantoio, è ubicato in via G. Di Vittorio; il secondo, annesso a un vetusto cinema, rappresenta un vecchio luogo ludico - forse una discoteca - e si trova in via M. Pacano. Dalle fotografie rilasciate dal proprietario di questi due locali, si osserva evidentemente che essi sono di natura antropica.

Tanto dovevasi in ottemperanza all'incarico ricevuto.

I GEOLOGI

Dott. Geol. Marcello DE DONATIS
Ph.D Geol. Francesco FORTE

I COLLABORATORI

Dott. Geol. Biagio CIARDO
Dott. Manuel MANCA

TAVOLE ALLEGATE

TAVOLA 1 – CARTA GEOLOGICA

TAVOLA 2 – CARTA GEOMORFOLOGICA

TAVOLA 3 – CARTA DELL'IDROGRAFIA

TAVOLA 4 – CARTA IDROGEOLOGICA

APPENDICE I – TECNICHE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL GAS RADON
NELLE COSTRUZIONI

17. BIBLIOGRAFIA DI PERTINENZA

AGI, Associazione Geotecnica Italiana (1977) – *Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.*

Altamura B. (1994) – *Aspetti morfologici e strutturali della piana costiera tra Brindisi e Lecce.*
Relatori: Prof. Luigi Pennetta e Dott. Massimo Angelo Caldara, Università degli Studi di Bari,
pp. 132 + appendice (pp. 38).

Aluzzi F., Panelli V., Sardelli V., Acquaviva N., Maiolino A. (2008) – *Analisi del territorio, geologia - idrogeologia - geotecnica (relazione).* Piano Urbanistico Generale del comune di Cellino San Marco contenente il Piano Regolatore Generale Comunale (2001) di De Mauro D., De Mauro P., De Mauro G., Mancarella G., Cascione F., Lolli D., Marino G., Masilla S., Masillo G., Pagano I., Renna M., Rizzo A.

Aluzzi F., Panelli V., Sardelli V., Acquaviva N., Maiolino A., Napolitano C., Palma G., Elia T. (2007) – *Analisi del territorio, caratterizzazione sismica e morfologica del territorio: O.P.C.M. n. 3274 e s.m.i. (Parere di cui all'art. 89 del D.P.R. 380/2001) (relazione).* Piano Urbanistico Generale del comune di Cellino San Marco adottato con D.C.C. n. 5 del 29 gennaio 2010.

ANPA, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (2000) – *Il Sistema Informativo Territoriale per la valutazione del potenziale di esalazione di radon dal suolo.* Rapporto ANPA, serie Stato dell'Ambiente 9/2000.

Autorità di Bacino della Puglia (2005) - *Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico*, Norme Tecniche di Attuazione e cartografia delle aree a pericolosità e rischio idraulico, Valenzano (Ba).

Autorità di Bacino della Puglia (2009) – *Carta idrogeomorfologica della Puglia*. Sito web: www.adb.puglia.it, Valenzano (Bari).

Castelluccio M. (2010) – *Studio del soil radon nel test-site della Valle della Caffarella, Roma*. Tesi di Dottorato in Geodinamica, Università “Roma Tre”.

Castelluccio M., Moroni P., Tuccimei P., Neznal M. (2010) – *Soil gas radon concentration and permeability at “Valle della Caffarella” Test Site (Roma, Italy)*. Evaluation of gas sampling.

Ciaranfi N., Pieri P., Ricchetti G. (1988) – *Note alla Carta Geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro–meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., vol. XLI, Roma, pp. 449–460.

Elia T. (2007) – *Indagini geognostiche per la caratterizzazione dei litotipi su tre aree del territorio comunale*. Determina del Dirigente dell’Ufficio Tecnico del Comune di Cellino San Marco n. 167 del 15 ottobre 2007.

Elia T. (2008) – *Progetto di mitigazione del rischio idraulico lungo il Canale Fosso*. Relazione geologica e relazioni specialistiche (D.P.R. 554/1999), Committente: Comune di Cellino San Marco (Delibera di Giunta Comunale n. 7 Reg. del 14 gennaio 2008), All. 3, pp. 47.

IGMI, Istituto Geografico Militare Italiano (1947-1948) – *Fogli 203 “Brindisi” e 204 “Lecce” della Carta Topografica d’Italia in scala 1:100000*, Firenze.

Martinis B. (1967) - *Note geologiche sui dintorni di Casarano e Castro (Lecce)*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, vol. 73, n. 4, pp. 1-63, 23 figure, 11 tavole.

Regione Puglia (2007) – *Piano di Tutela delle Acque (I edizione)*. Pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Puglia n. 102 del 18 luglio 2007, pp. 102.

Regione Puglia (2009) – *Piano di Tutela delle Acque (II edizione)*. Deliberazione del Consiglio Regionale n. 230 del 20 ottobre 2009, Servizio Tutela delle Acque, Area Politiche per l’Ambiente, le Reti, la Qualità Urbana. Relazione di Piano (pp. 288) ed elaborati cartografici, Sogesid S.p.A.

Regione Puglia (2015) – *Piano Paesaggistico Territoriale Regionale*. Delibera di Giunta Regionale n. 176 del 16 febbraio 2015, Servizio Assetto del Territorio della Regione Puglia. Relazione di Piano ed elaborati cartografici.

Ricchetti G. (1972) – *Osservazioni geologiche e morfologiche preliminari sui depositi quaternari affioranti nel Foglio 203 “Brindisi”*. Bollettino della Società Naturalistica, vol. 81, pp. 543-566, 6 figure, 3 tavole, Napoli.

Rossi D. (1969) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000, Fogli 203, 204 e 213 (Brindisi, Lecce e Maruggio)*. Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, Direzione Generale delle Miniere – Servizio Geologico d'Italia, Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (Napoli), pp. 44.

SIT, Sistema Informativo Territoriale della Regione Puglia – *Dati tematici, ortofoto, Digital Terrain Model e Carta Tecnica Regionale*, http://www.sit.puglia.it/portal/portale_cartografie_tecniche_tematiche/Download/Cartografie.

APPENDICE 1

TECNICHE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE DEL GAS RADON NELLE COSTRUZIONI

1. PREMESSA

Il presente documento è stato elaborato in ottemperanza del comma 2 art.3 della L.R. 3 novembre 2016, n. 30 - "Norme in materia di riduzione delle esposizioni alla radioattività naturale derivante dal gas 'radon' in ambiente confinato" secondo cui l'approvazione dei piani urbanistici generali e attuativi deve essere preceduta da studi preliminari del suolo e del sottosuolo, in grado di definire particolari tecniche costruttive, imposte con le norme tecniche di attuazione, ovvero con prescrizioni in materia di costruzione dei manufatti edilizi, da considerare in sede di progettazione dei vespai, del sistema di ventilazione degli interrati e seminterrati, nonché idonee prescrizioni sull'uso di materiali contaminati e cementi pozzolanici, ovvero materiali di origine vulcanica.

In particolare in questo allegato sono riportate delle tecniche costruttive che possono essere impiegate per la riduzione del rischio radon. Se può essere facoltativo l'utilizzo di uno o più sistemi per il controllo del gas radon, di seguito descritti, è obbligatorio contenere nei limiti di legge la presenza del gas radon negli ambienti confinati secondo quanto prescritto dalle norme vigenti. Le soluzioni proposte costituiscono uno stralcio delle linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti *indoor*, approvate dalla Regione Lombardia con DGG 12678 del 21/12/2011 che si ripropongono in quanto coerenti con le problematiche che si riscontrano sul territorio comunale.

2. IL RADON NEGLI EDIFICI

2.1 Meccanismi di ingresso

La principale sorgente di radon negli edifici è il suolo, in particolare nelle aree in cui si sono riscontrati valori di concentrazioni elevati negli edifici. Spesso lo strato superiore del terreno è scarsamente permeabile costituendo una barriera per la risalita del radon nell'edificio, tuttavia la penetrazione delle fondamenta nel terreno può creare canali privilegiati di ingresso del gas all'interno degli edifici.

La risalita del gas radon dal suolo verso l'interno dell'edificio avviene per effetto della lieve depressione, causata essenzialmente dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno dell'edificio, in cui viene a trovarsi l'interno dell'edificio rispetto all'esterno per fenomeni quali l'“effetto camino” (Fig. 1) e l'“effetto vento” (Fig. 2); tale depressione provoca un “risucchio” dell'aria esterna, anche dal suolo, verso l'interno dell'edificio.

Il fenomeno è più significativo quanto maggiore è la differenza di temperatura tra interno ed esterno dell'edificio. La differenza di pressione può essere amplificata dalla presenza di venti forti e persistenti, i quali investendo l'edificio direzionalmente, possono creare forti pressioni sulle pareti investite e depressioni su quelle non investite, accentuando il “richiamo” di aria dal suolo verso l'interno dell'edificio (“effetto vento”).

A causa della dipendenza dalle differenze di temperatura e di velocità dell'aria, la concentrazione di radon *indoor* è variabile a seconda delle condizioni meteorologiche e può presentare sensibili variazioni sia giornaliere che stagionali.

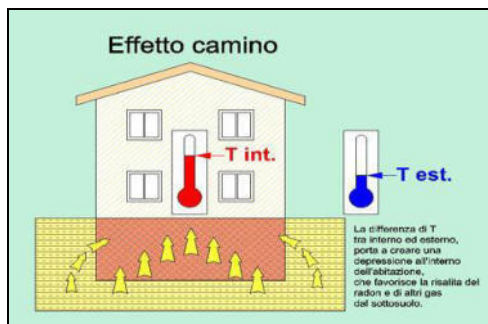


Fig. 1 – Effetto camino

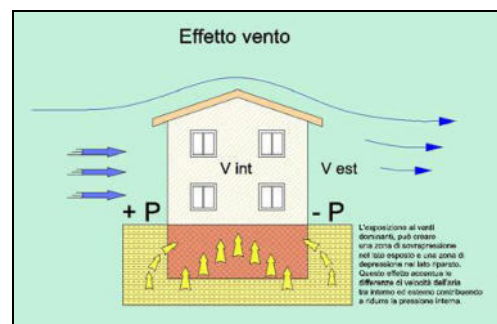


Fig. 2 – Effetto vento

Il radon tende a diminuire rapidamente con l'aumento della distanza degli ambienti abitati dal suolo; si avranno, quindi, normalmente, concentrazioni di gas radon più elevate nei locali interrati o seminterrati rispetto a quelle nei locali posti ai piani rialzati (Fig. 3).

La differenza di pressione può essere, inoltre, accentuata da fattori quali:

- impianti di aspirazione (cappe delle cucine, aspiratori nei bagni, ecc.) senza un sufficiente approvvigionamento di aria dall'esterno;
- presenza di canne fumarie senza prese d'aria esterna;
- mancanza di sigillatura delle tubazioni di servizio.

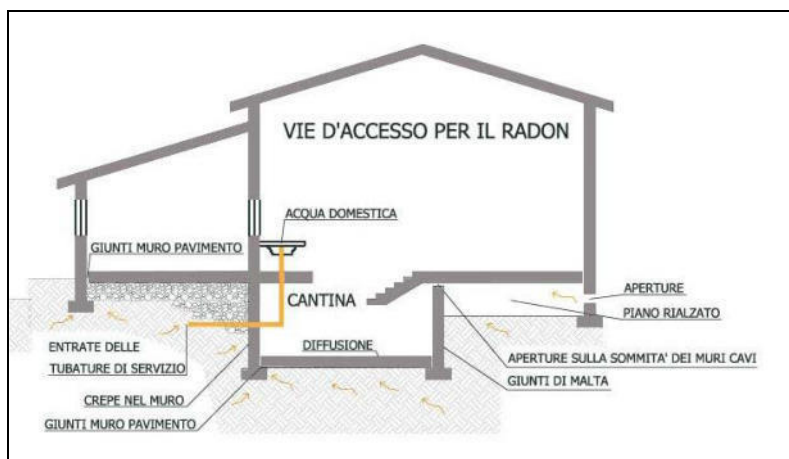


Fig. 3 – Vie di accesso per il gas radon.

2.2 I materiali da costruzione

Anche alcuni materiali da costruzione possono essere causa di un significativo incremento delle concentrazioni di gas radon all'interno dell'edificio, a causa del loro contenuto di radionuclidi di origine naturale.

I materiali che possono costituire una sorgente significativa di radon *indoor* sono quelli caratterizzati da un elevato contenuto di Radio 226 (precursore del radon) e da una elevata permeabilità al gas.

La Commissione Europea ha emanato un documento dal titolo "Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials" il quale indica che i materiali da costruzione non dovrebbero contribuire al superamento di concentrazione di gas radon pari a 200 Bq/m^3 negli edifici.

Numerosi sono gli studi che hanno approfondito tale tematica; le misurazioni del contenuto di Radio 226 nei materiali lapidei italiani hanno mostrato valori di attività specifica che vanno da meno di 1 Bq/kg a qualche centinaio di Bq/kg . In campioni di tipo sedimentario, come i travertini, si sono riscontrate le concentrazioni più basse, invece valori più elevati sono stati osservati nei graniti e nelle sieniti ($250\text{-}350 \text{ Bq/kg}$ di Radio 226).

Un recente studio italiano ha misurato la radioattività naturale di circa 80 campioni di materiali da costruzione comunemente usati in Italia; da tale rilevazione è emerso che sono numerosi i materiali che hanno un indice di rischio eccedente i valori di riferimento indicati dalla Commissione Europea. Tale indice di rischio è tuttavia da correlare alle proprietà del materiale e al suo uso; lo studio infatti ha evidenziato che i materiali basaltici e i composti ceramici avevano valori di emanazione di radon più elevati rispetto ad altri materiali con i medesimi indici di rischio. Un più recente studio condotto a livello europeo ha determinato i livelli di radioattività naturale di materiali edilizi provenienti da numerosi paesi europei e ha valutato che numerosi sono quelli che superano i valori indicati dalla Commissione Europea; le misurazioni confermano una elevata concentrazione di radionuclidi naturali nelle pietre di origine vulcanica e di origine metamorfica.

2.3 Caratteristiche dell'edificio e rischio radon

I principali punti attraverso i quali l'aria carica di gas radon riesce a penetrare dal suolo nell'edificio sono le aperture, le fessurazioni, i giunti o le superfici particolarmente permeabili. A parità di presenza di radon nel suolo e di differenza di pressione interno - esterno, l'effettiva concentrazione del gas radon è fortemente influenzata dalle caratteristiche tecniche dell'abitazione così come dalle sue caratteristiche di fruizione e di gestione (Tab. 1).

Caratteristiche dell'edificio che aumentano la probabilità di ingresso di radon	
Scavo di fondazione	- effettuato minando la roccia - in area di riempimento, su ghiaia o sabbia - in terreni di fondazione con crepe o molto permeabili, anche se al di fuori delle aree a rischio radon
Attacco a terra	- contatto diretto del primo solaio e/o di alcune pareti con il terreno - mancanza di vespaio areato
Superfici permeabili	- pavimenti naturali in terra battuta, ciotoli, ecc. - solai in legno - pareti in forati - muratura in pietrisco
Punti di infiltrazione	- fori di passaggio cavi e tubazioni - giunti o fessurazioni in pavimenti e pareti - pozzetti ed aperture di controllo - prese elettriche nelle pareti della cantina - camini, montacarichi, etc.
Distribuzione spazi	- locali interrati o seminterrati adibiti ad abitazione - presenza di scale aperte che conducono alla cantina
Fruizione	- nulla o scarsa ventilazione dei locali interrati - scarsa ventilazione dei locali abitati - lunga permanenza in locali interrati o seminterrati

Tab. 1 – Fattori che facilitano la presenza di radon *indoor*.

3. TECNICHE DI PREVENZIONE E MITIGAZIONE

Il fattore su cui è più immediato e semplice intervenire per ridurre le esposizioni al gas radon nelle abitazioni è quello legato alla tipologia e alla tecnologia costruttiva dell'edificio. Le tecniche di controllo dell'inquinamento *indoor* da gas radon possono essere schematicamente riassunte in:

- **barriere impermeabili** (evitare l'ingresso del radon all'interno degli edifici con membrane a tenuta d'aria);
- **depressione alla base dell'edificio** (intercettare il radon prima che entri all'interno degli edifici aspirandolo per espellerlo poi in atmosfera);
- **pressurizzazione alla base dell'edificio** (deviare il percorso del radon creando delle sovrappressioni sotto l'edificio per allontanare il gas).

Barriere impermeabili

Si tratta di una tecnica applicabile prevalentemente nella nuova edificazione, ma adattabile anche in edifici esistenti e consiste nello stendere sull'intera superficie dell'attacco a terra dell'edificio una membrana impermeabile che separi fisicamente l'edificio dal terreno. In questo modo il gas che risalirà dal suolo non potrà penetrare all'interno dell'edificio e devierà verso l'esterno disperdendosi in atmosfera (Fig. 4).

È una tecnica che già viene normalmente eseguita in diversi cantieri allo scopo di evitare risalite dell'umidità capillare dal terreno. Spesso tuttavia la membrana viene posta solo sotto le murature (membrana taglia muro per evitare il rischio di umidità sulle murature a piano terra), ma per essere efficace anche nei confronti del gas radon deve essere posata su tutta l'area su cui verrà realizzato l'edificio.

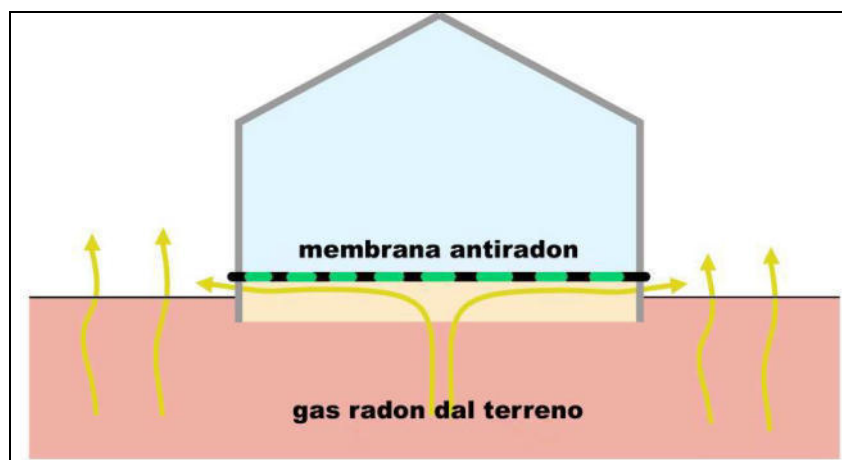


Fig. 4 – Una membrana impermeabile antiradon di separazione fra l'attacco a terra e l'edificio è un sistema efficace nei confronti dell'ingresso del radon nelle abitazioni, purché attentamente posata.

In commercio sono disponibili numerose membrane "antiradon"; è opportuno tuttavia evidenziare che anche una membrana impermeabile (bituminosa, PVC, ecc.) fornisce adeguate prestazioni, specie se del tipo "barriera al vapore" e sottolineare che la posa in opera riveste un ruolo determinante sull'efficacia della barriera. Va ricordato, infatti, che il

radon non fuoriesce dal terreno in pressione, ma viene richiamato dalla leggera depressione che si crea all'interno dell'edificio ed è quindi sufficiente ostacolare questo leggero flusso di gas con una barriera sintetica. Particolare attenzione deve però essere posta alla posa in opera della membrana, evitando qualsiasi tipo di bucatura o lacerazione che potrebbe risultare poco importante nell'arrestare la risalita nell'edificio dell'umidità ma sicuramente più critica per quanto riguarda il radon. Per questo motivo, il suggerimento è quello di posare innanzitutto una striscia di membrana al di sotto delle murature portanti facendola risvoltare in parte sul piano orizzontale di calpestio. Una volta completata l'esecuzione delle murature e poco prima della posa dello strato isolante, oppure del getto del massetto impiantistico o di altro strato di completamento, sarà posata la membrana sull'intera superficie sovrapponendola per una quindicina di centimetri con la parte sporgente della membrana taglia muro e sigillando o incollando i lembi sovrapposti. In questo modo si limiterà al minimo il calpestamento della membrana e il rischio di rotture (Fig. 5).

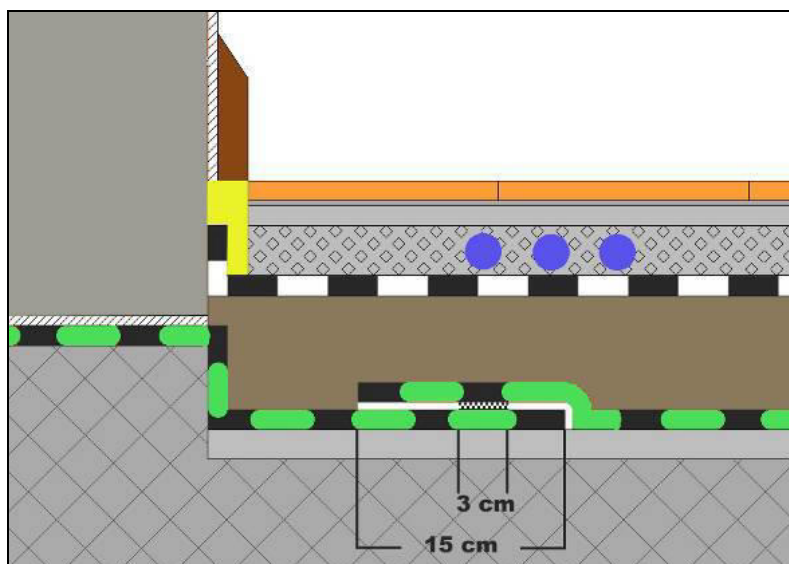


Fig. 5 – La membrana, posta sulla superficie orizzontale, andrà sovrapposta per circa 15 cm sulla membrana taglia muro e sigillata o incollata per una perfetta tenuta all'aria.

Depressione alla base dell'edificio

È una tecnica basata sull'aspirazione del gas prima che possa trovare un percorso verso l'interno dell'edificio e che si realizza creando una depressione d'aria al di sotto o in prossimità dell'edificio tramite un ventilatore di adeguata potenza. Questo sistema di mitigazione può essere realizzato in diversi modi in funzione della tipologia della costruzione (in particolare, dell'attacco a terra) e a seconda che si intervenga su edifici esistenti o di nuova costruzione. I punti di aspirazione, di cui in seguito verranno illustrate le modalità esecutive, possono essere anche più di uno in funzione della dimensione del fabbricato e tenendo conto che, in linea di massima, l'efficacia di questo intervento si esplica all'interno di un raggio di 6-8 m dal punto di aspirazione. In caso di **edifici esistenti**, l'aspirazione che mette in depressione la base dell'edificio può essere effettuata:

- direttamente nel terreno al di sotto o al perimetro dell'edificio in caso di costruzioni il cui solaio a terra poggia direttamente sul terreno senza alcuna intercapedine, vespaio, locale interrato e seminterrato o altri volumi fra locali abitati e terreno. In pratica si tratta di intercettare, con un sistema di aspirazione, le fratture, i vuoti, le porosità attraverso le quali il gas trova un agevole percorso di risalita e in questi punti creare un risucchio che devii il percorso del gas, canalizzandolo verso l'esterno dell'edificio. Laddove al piano terra siano presenti locali di servizio (autorimesse, cantine, lavanderie) sarà possibile effettuare uno scavo al centro dell'edificio e canalizzare il gas all'esterno (Fig. 6). Se le finiture interne o le destinazioni d'uso non consentono questa tipologia di intervento, il punto di aspirazione può essere applicato nell'immediato perimetro dell'edificio, ovviamente con una minore efficacia nei confronti della superficie dell'edificio e, quindi, valutando l'opportunità di due o più punti contrapposti di aspirazione (Fig. 7);

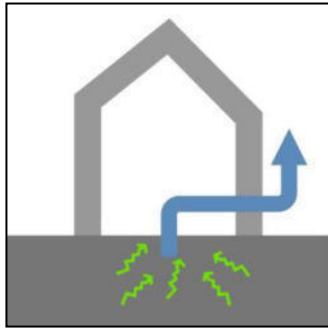


Fig. 6 – Depressione del sottosuolo sotto l'edificio.

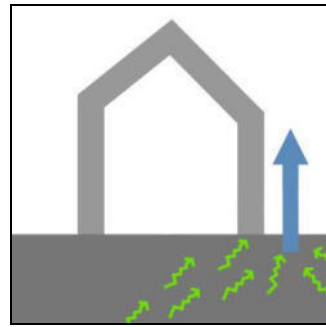


Fig. 7 – Depressione del sottosuolo con aspiratore perimetrale.

- all'interno di un volume preesistente, per esempio un vespaio, che funge da volume da mettere in depressione e che intercetta ed espelle il gas prima che entri nell'alloggio (Fig. 8);

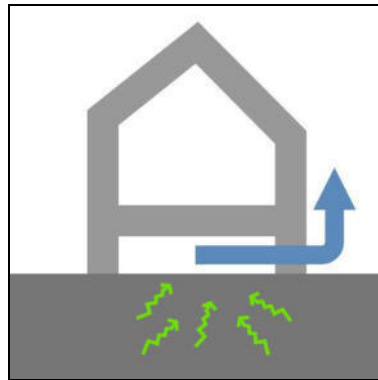


Fig. 8 – Depressione del volume del vespaio.

- il volume sul quale intervenire per creare una depressione sotto i locali abitati può anche essere un locale tecnico posto a piano terra, oppure seminterrato o interrato non direttamente destinato ad abitazione ma di utilizzo saltuario (anche giornaliero ma, comunque, non di soggiorno quotidiano) e che quindi possa essere utilizzato come "locale di sacrificio" da mettere in depressione (Fig. 9 e Fig. 10). Le aperture di comunicazione con l'appartamento sovrastante dovranno essere munite di porta con guarnizioni a tenuta d'aria.

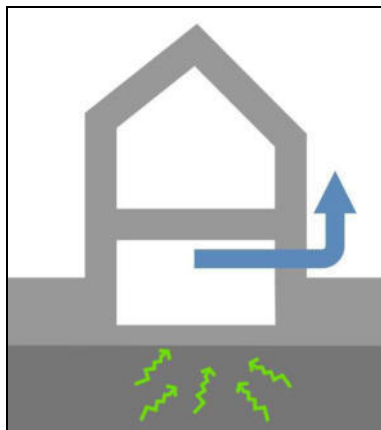


Fig. 9 – Depressione di un volume tecnico sotto l'edificio.

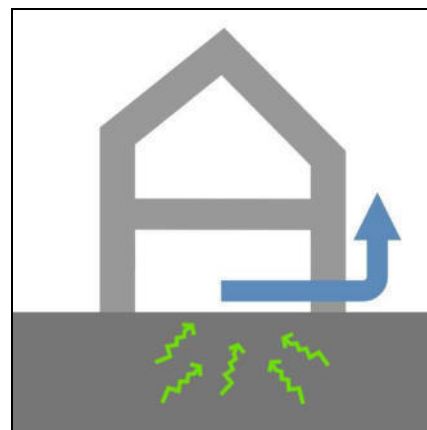


Fig. 10 – Depressione di un volume tecnico alla base dell'edificio.

In caso di **edifici di nuova costruzione** l'impianto di aspirazione che mette in depressione la base dell'edificio potrà essere solo predisposto, come già detto, e messo in funzione in caso di esito positivo della presenza del gas radon. Dato che la maggiore efficacia si ottiene con una aspirazione direttamente sotto l'edificio, le tecniche applicabili sono essenzialmente due:

- posizionare al di sotto dell'edificio un pozzetto di aspirazione collegato a una canalizzazione di evacuazione fino al perimetro dell'edificio (Fig. 11). Il pozzetto di aspirazione o, comunque, un altro tipo di punto di suzione, dovrà essere collegato a una tubazione, generalmente in PVC, canalizzata all'esterno fuori terra. In caso di necessità (livelli di radon elevati), potrà essere collegato alla tubazione che raggiunge il perimetro dell'edificio un sistema elettromeccanico di aspirazione che metterà in depressione il sottosuolo, intercettando il flusso di gas;

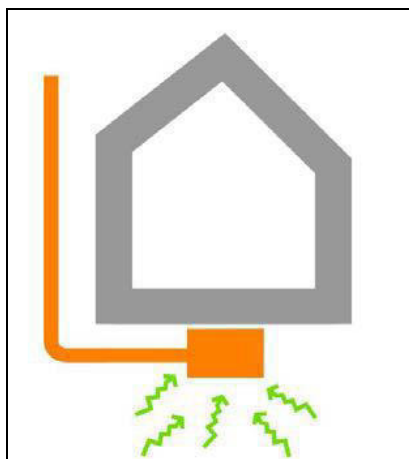


Fig. 11 – Depressione del sottosuolo tramite pozzetto.

- laddove sia previsto un sistema di tubazioni di drenaggio dell'eventuale acqua di falda, il sistema di prevenzione di ingresso del radon potrà essere predisposto semplicemente unendo fra loro queste tubazioni e canalizzando una delle estremità all'esterno fuori terra (Fig. 12). Le tubazioni forate dell'impianto di drenaggio fungeranno anche da impianto di aspirazione distribuito al di sotto dell'intera superficie della costruzione evacuando l'acqua di falda nella sezione inferiore e il radon nella parte alta. L'accortezza dovrà essere quella di collegarle a serpentina in modo che un solo punto di aspirazione possa interessare tutta l'area su cui sorge l'edificio. Anche in questa circostanza, l'aspiratore verrà installato solo in caso di verifica della presenza del gas in quantità eccessive, prestando anche attenzione affinché non interferisca con l'evacuazione dell'acqua.

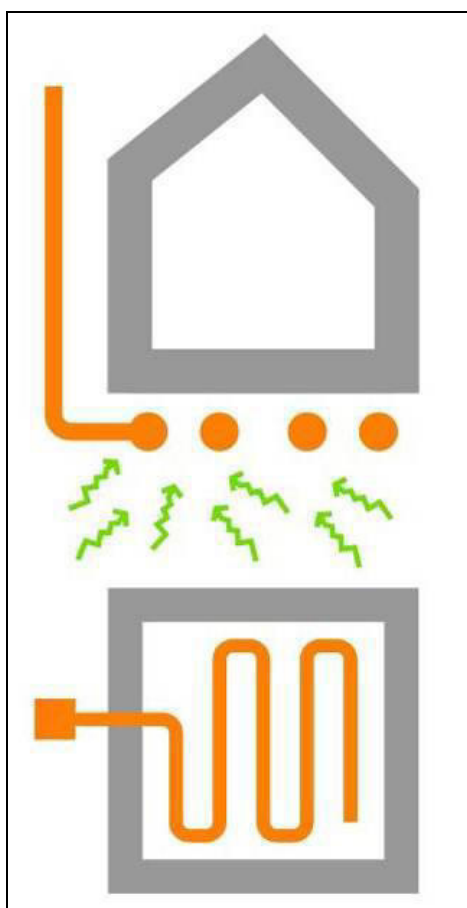


Fig. 12 – Depressione del sottosuolo tramite tubazioni drenanti.

- in entrambi i casi, trattandosi di nuove costruzioni, sarà comunque sempre opportuno e particolarmente funzionale la messa in opera anche di una membrana impermeabile all'interno degli strati che costituiscono l'attacco a terra (Fig. 13) che, già di per sé, costituirà una efficace soluzione.

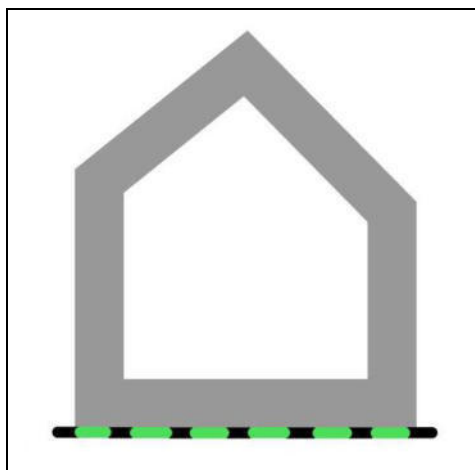


Fig. 13 – Membrana impermeabile antiradon fra il terreno e l'edificio.

Pressurizzazione alla base dell'edificio

L'inverso della tecnica precedente consiste nell'insufflare aria al di sotto dell'edificio per creare una zona di sovrappressione. In questo modo si crea un moto d'aria che tendenzialmente contrasta l'effetto risucchio creato dalla casa nei confronti del terreno (per minore pressione interna) e spinge il gas al di fuori del perimetro della costruzione lasciando che si disperda in atmosfera. Il radon, infatti, non esce dal terreno in pressione, ma semplicemente per differenza di pressione fra edificio e terreno. Si tratta, quindi, della medesima tecnica della depressione nella quale viene semplicemente invertito il flusso del ventilatore sulla canalizzazione. È una tecnica prevalentemente adatta al patrimonio edilizio esistente, in quanto nelle nuove costruzioni la predisposizione di una barriera antiradon e di un sistema aspirante fornisce migliori risultati e necessita di un impianto dimensionalmente più limitato e, quindi, meno costoso e comportante consumi inferiori. La pressurizzazione può avvenire direttamente nei confronti del terreno oppure di un volume-vespaio sottostante l'edificio (Fig. 14);

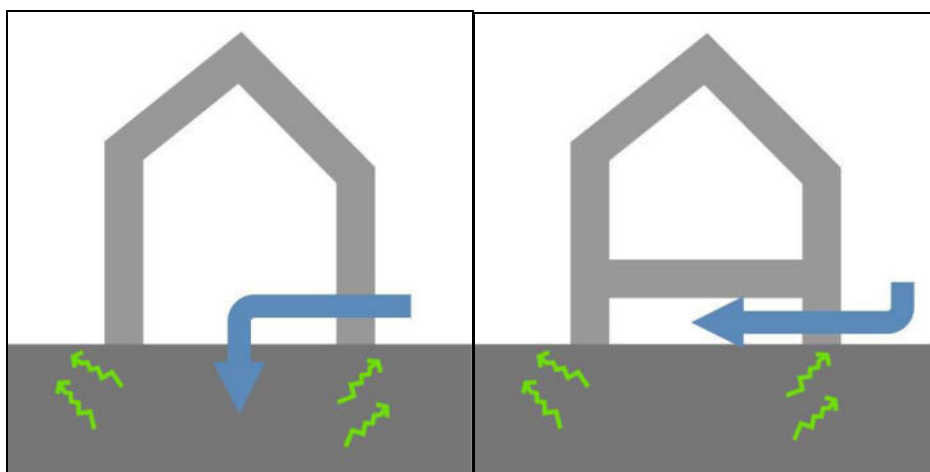


Fig. 14 – Pressurizzazione del terreno o del vespaio.

- è possibile anche creare una pressurizzazione all'interno di un locale posto a piano terra, oppure seminterrato o interrato (Fig. 15). In questo caso, potrebbe anche essere un locale abitato e non esclusivamente un locale tecnico, in quanto la pressurizzazione impedisce l'ingresso del gas e la pressione interna non è così elevata da creare disagio agli abitanti. Sicuramente, anche in questo caso, le aperture di comunicazione del locale dovranno essere munite di porta con guarnizioni a tenuta d'aria considerando, comunque, che la sovrappressione non è così elevata da spingere lontano il gas, ma tale da contrastare e invertire la naturale depressione che si crea fra terreno ed edificio;

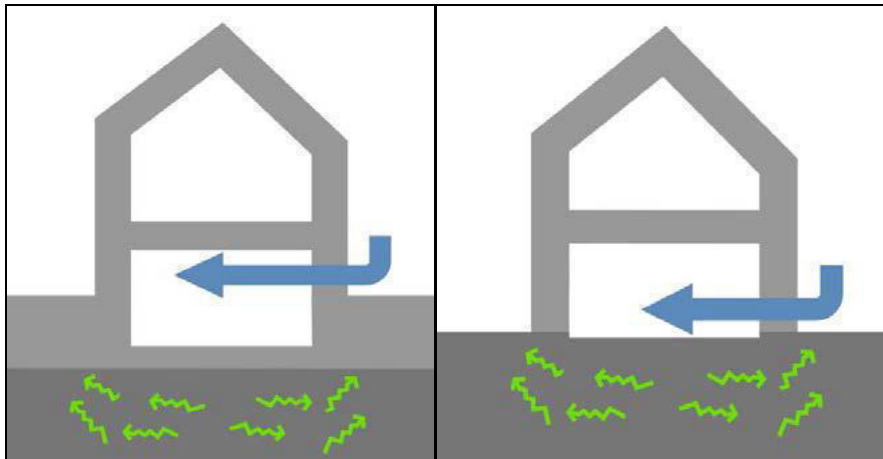


Fig. 15 – Pressurizzazione di un locale tecnico alla base dell'edificio.

- non si tratta invece di una soluzione funzionale la pressurizzazione del terreno al perimetro dell'edificio (Fig. 16) in quanto, in caso di superfici ampie e/o di planimetrie complesse, il gas spinto lontano dal punto di sovrappressione potrebbe essere incanalato verso l'interno in altri punti dell'edificio. Inoltre, i ventilatori necessari potrebbero risultare eccessivamente potenti, rumorosi e soprattutto energivori.

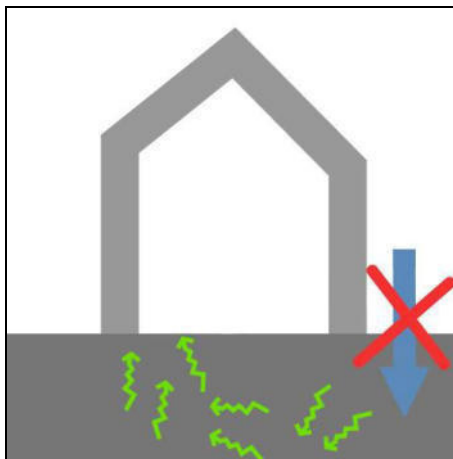


Fig. 16 – Non pressurizzare il terreno al perimetro dell'edificio.

Depressione o pressurizzazione?

Dopo aver visto le due tecniche principali di mitigazione dell'inquinamento *indoor* da gas radon, fondamentalmente molto simili e anche identiche in alcuni punti per quanto riguarda i sistemi impiantistici da adottare, è possibile fare alcune valutazioni sulla relativa efficacia e sulle opportunità di impiego.

Non è infatti possibile definire a priori quale possa essere la tecnica migliore in quanto è difficile, per quanto concerne l'edilizia esistente, conoscere esattamente le tecniche costruttive attraverso le quali è stato realizzato l'attacco a terra, soprattutto nei dettagli delle connessioni, del passaggio degli impianti, nei giunti, ecc., e tantomeno conoscere le caratteristiche geologiche del terreno sottostante.

In linea di massima si evidenziano alcuni punti:

- gli impianti di depressurizzazione o pressurizzazione, da un punto di vista tecnologico, sono i medesimi; la differenza consiste nell'inversione del flusso d'aria. Per questo risulta conveniente adottare delle tipologie di ventilatore che possano essere agevolmente invertiti sulla canalizzazione oppure adottare dei ventilatori che consentano, tramite un interruttore, l'inversione del flusso.
- la tecnica della depressione necessita di una tubazione che porti il gas aspirato in quota per disperderlo in atmosfera (Fig. 17) ed evitare che rientri dalle finestre sui prospetti. Individuare questo percorso, dal punto di aspirazione al tetto dell'edificio, che deve essere piuttosto lineare e poco invasivo, dal punto di vista costruttivo ed estetico, è spesso il problema maggiore. Per la tecnica della pressurizzazione, invece, è sufficiente un punto di aspirazione alla base dell'edificio in prossimità del ventilatore (Fig. 18);
- in caso di pressurizzazione, il punto di aspirazione dell'aria, posto in prossimità della quota terra, necessita di un'opera di manutenzione e soprattutto di pulizia per evitare che venga parzialmente ostruito (Fig. 18). Si tratta di un'operazione semplice ma da prevedere e programmare, operazione che invece è assente in caso di depressione;

- la tecnica della pressurizzazione necessita, in linea di massima, di potenze maggiori rispetto alla depressione e, quindi, maggiori costi di esercizio oltre a un probabile aumento dei livelli di rumore;
- nelle nuove costruzioni, potendo più agevolmente prevedere i percorsi delle canalizzazioni soprattutto di evacuazione, si preferisce la depressione in quanto prevede consumi energetici più limitati e maggiore garanzia di efficacia;
- in situazioni con impianti in depressione, il radon viene aspirato ed evacuato in punti noti e progettati. Con impianti di pressurizzazione il radon viene deviato su altri percorsi non definiti dal progettista e non noti;
- in caso di interruzione della corrente o rottura dell'impianto, la pressurizzazione ostacola, comunque, per un certo tempo, l'ingresso del gas che è stato spinto lontano; il fermo dell'impianto di depressione riapre invece immediatamente le vie di ingresso al gas che è nelle vicinanze. In linea di massima, comunque, entrambe le soluzioni sono valide; si può ragionevolmente sostenere che la tecnica della depressione raggiunge più agevolmente i risultati di abbattimento delle concentrazioni di gas radon; invece, per adottare la tecnica della pressurizzazione è necessaria una maggiore esperienza nel valutare le condizioni di progetto.

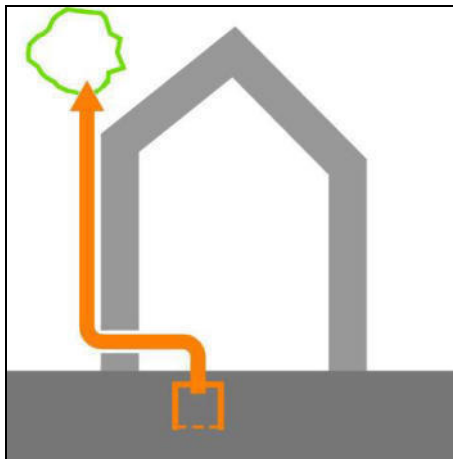


Fig. 17 – Evacuazione del gas aspirato in quota oltre la linea di gronda dell'edificio.



Fig. 18 - È necessario mantenere puliti i punti di aspirazione dell'aria.

Tipologie di vespaio

Il termine vespaio viene usato in edilizia per intendere differenti configurazioni dell'attacco a terra e non in maniera propriamente univoca:

- può essere un volume interamente vuoto o riempito parzialmente o totalmente con materiale di varia natura come macerie, terra, ghiaia, ecc.;
- può essere interrato, parzialmente interrato o fuori terra;
- può avere altezze diverse, da un minimo di circa 10 cm finanche a 60-70 cm;
- può essere praticabile, nel senso di accessibile per ispezione-manutenzione impianti, verifiche del solaio a terra, ecc. nel caso sia ovviamente vuoto;
- lo scopo principale è quello di separare la casa dall'umidità del terreno e, in alcuni Regolamenti Edilizi, viene prescritto come soluzione tecnica obbligatoria anche con il nome di "vuoto sanitario", a sottolineare appunto la funzione igienica per il mantenimento di adeguati valori di umidità relativa degli ambienti sovrastanti;

- in alcune tipologie di costruzione può essere assente e l'edificio poggia direttamente con il solaio a terra sul terreno (costruzioni d'epoca di modesto pregio) oppure su platee di fondazione in calcestruzzo (con il medesimo scopo di costituire una barriera all'umidità);

Ai fini della riduzione delle concentrazioni di gas radon, risulta particolarmente utile conoscere l'esistenza e le caratteristiche del vespaio in quanto è il principale elemento tecnico sul quale è più agevole intervenire. Per intervenire sul volume-vespaio si possono adottare tali soluzioni:

- se il vespaio ha un volume completamente vuoto (Fig. 19), sono applicabili entrambe le tecniche di depressione e pressurizzazione individuando un punto idoneo al perimetro attraverso il quale forare il muro perimetrale e intercettare il volume;

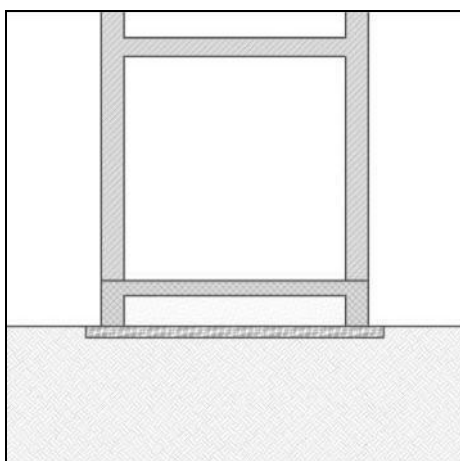


Fig. 19 – Vespaio sotto l'edificio completamente vuoto.

- se il vespaio è strutturalmente realizzato con tavelloni posti sopra muricci in mattoni nei quali siano state lasciate delle aperture che mettano in comunicazioni i diversi comparti (Fig. 20), sarà sufficiente individuare un punto idoneo per intercettare il volume;

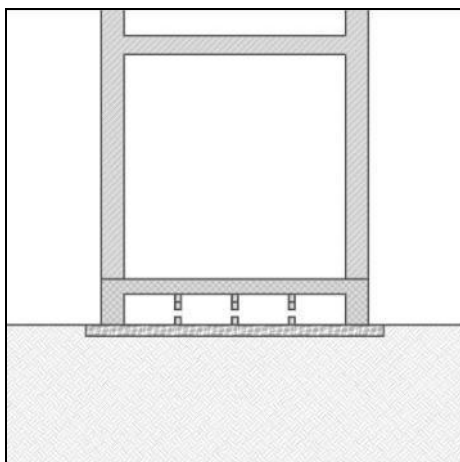


Fig. 20 – Vespaio sotto l'edificio compartimentato aperto.

- se il vespaio è realizzato con casseri a perdere in materiale plastico (igloo), ovvero la soluzione costruttiva che realizza un vespaio perfettamente ventilabile, sarà sufficiente individuare un punto di aspirazione che intercetti una sezione libera all'interno di uno dei casseri (Fig. 21);

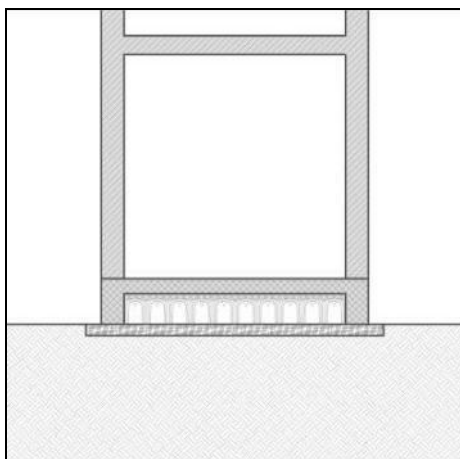


Fig. 21 – Vespaio sotto l'edificio aperto con casseri a perdere in materiale plastico.

- se il vespaio è strutturalmente realizzato con tavelloni posti sopra muricci in mattoni nei quali però non siano state lasciate delle aperture che mettano in comunicazione i diversi comparti (Fig. 22), sarà necessario individuare più punti di aspirazione-ventilazione a seconda del numero di compartimentazioni in modo da realizzare un sistema aspirante in ogni volume, con tubazioni poi eventualmente canalizzate al medesimo aspiratore ma che agisca comunque sull'intera superficie. Si tratta di un intervento che può risultare complesso e presentare costi elevati per cui potrà essere considerato come un solaio a terra poggiante direttamente sul terreno. In questo caso, andrà anche verificata la presenza di eventuali aperture/crepe/fori nel punto di connessione fra solaio a terra e parete verticale, i quali potrebbero costituire dei punti di ingresso/uscita dell'aria limitando gli effetti dell'impianto.

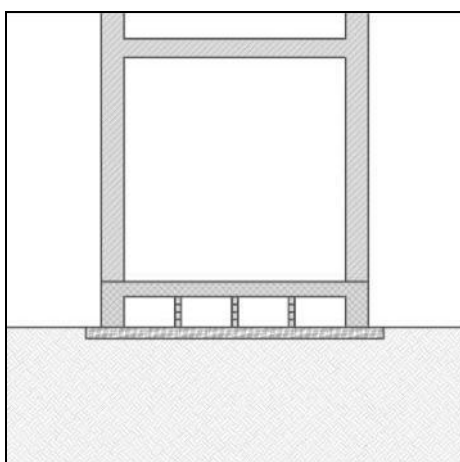


Fig. 22 – Vespaio sotto l'edificio compartimentato chiuso.

- se il vespaio è parzialmente o totalmente riempito con materiale di riporto, ghiaia, macerie, ecc. (Fig. 23), si potranno adottare le medesime tecniche del vespaio vuoto con particolare attenzione a individuare un buon punto di aspirazione/pressurizzazione nella parte più libera del volume. In questo caso, inoltre, avendo un volume di minore dimensione da mettere in depressione/pressione, potrà anche essere utilizzato un ventilatore di potenza ridotta. Si tratta, quindi, di una situazione favorevole per via dei limitati volumi nei quali però l'aria può circolare e, quindi, si possono ottenere risultati soddisfacenti con potenze e consumi ridotti. Se, al contrario, il volume è stato completamente riempito con materiale compatto (sabbia, macerie miste a residui di leganti, ecc.) ci si dovrà ricondurre alla tipologia del solaio a terra poggiante direttamente sul terreno in quanto, con ogni probabilità, non si potrà avere alcuna circolazione d'aria.

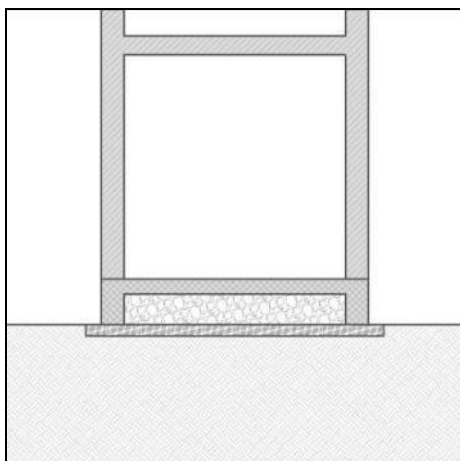


Fig. 23 – Vespai sotto l'edificio parzialmente o totalmente riempito.

La linea di separazione del “solaio a terra”

Gli schemi seguenti intendono fornire una prima classificazione delle possibili variabili che intervengono sulla linea che separa il gas dall'uomo (Fig. 24). In alcuni casi possono coesistere un volume-vespaio vuoto o parzialmente riempito sotto gli ambienti abitati, assieme a un secondo volume-vespaio pieno sottostante (interrato, seminterrato, contro terra). Importante è quindi definire la linea orizzontale al di sotto della quale possono essere pensati degli interventi di mitigazione dell'ingresso del gas, quella comunemente costituita dall'elemento tecnico “solaio a terra” e inteso come l'elemento tecnico orizzontale più basso che separa gli ambienti abitabili da quelli non abitabili, ancorché eventualmente fruibili (cantine, rimesse, ecc.).

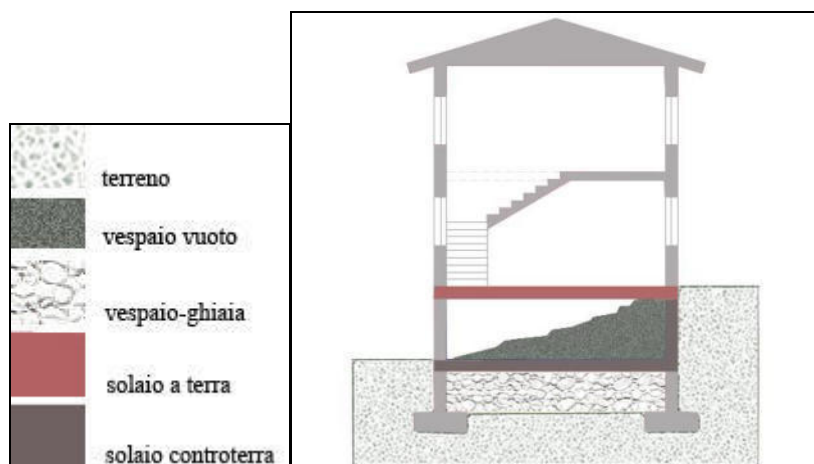


Fig. 24 – Il solaio a terra costituisce la linea di separazione fra volumi abitati e volumi non abitati.

Depressurizzare o pressurizzare i vespai?

In merito alla tecnica più opportuna in funzione della tipologia di solaio, si può partire dal presupposto che la tecnica della pressurizzazione richiede, in genere, una maggiore potenza dei ventilatori rispetto alla depressione e risente maggiormente delle perdite dovute alla non perfetta tenuta del volume pressurizzato. È consigliabile pressurizzare un vespaio libero con compartimenti comunicanti fra loro, laddove le dimensioni volumetriche siano abbastanza contenute e la pianta non particolarmente complessa; in caso contrario, è preferibile depressurizzare (Fig. 25).

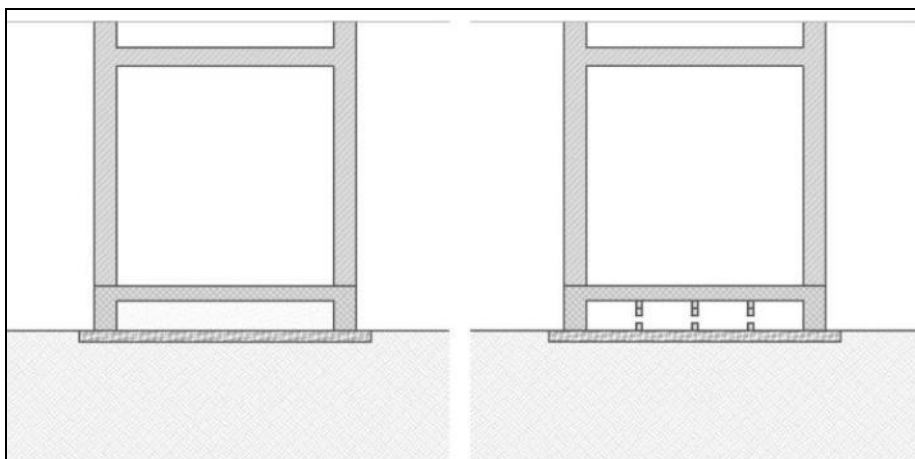


Fig. 25 – Pressurizzare prevalentemente solo i vespai di volume ridotto; altrimenti, meglio depressurizzare.

I vespai, realizzati con casseri a perdere in PVC, di solito hanno una buona tenuta all'aria per la loro caratteristica costruttiva. In questo caso, quindi, le perdite di carico dovute alla tenuta del volume sono più limitate e la tecnica della pressurizzazione può dare dei risultati più interessanti anche per volumi abbastanza ampi (Fig. 26). Le connessioni a incastro dei casseri e il successivo getto di completamento in calcestruzzo limitano, infatti, la permeabilità del sistema, soprattutto verso gli ambienti abitati sovrastanti

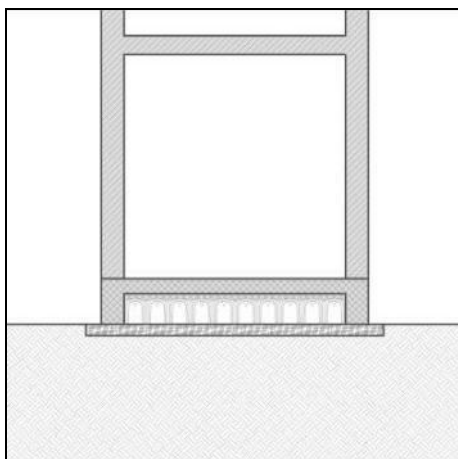


Fig. 26 – I vespai realizzati con casseri a perdere in materiale plastico hanno una buona tenuta all'aria.

Nei vespai a compartimenti chiusi il successo della pressurizzazione è limitato e il rischio di avere dei volumi con pressioni diversificate può essere causa di trasmigrazione del gas da un volume all'altro fino a trovare una strada di ingresso per l'interno dell'edificio; in tali casi è preferibile utilizzare la tecnica della depressurizzazione (Fig. 27).

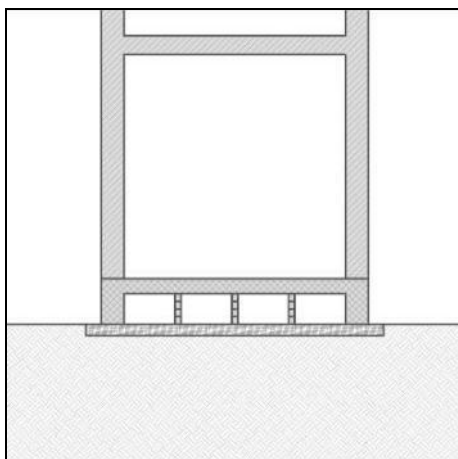


Fig. 27 - È sempre più opportuno depressurizzare i vespai compartimentati chiusi.

Nel caso di un riempimento del vespaio poco poroso (terra, macerie fini e residui di legante, ecc.), senza alcuna lama d'aria nella parte alta, entrambe le tecniche possono fallire e, quindi, è preferibile utilizzare la tecnica per il solaio a terra poggiante direttamente sul terreno (Fig. 28).

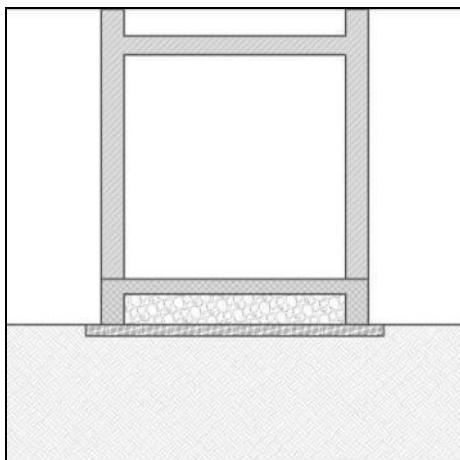


Fig. 28 – I vespai parzialmente o totalmente riempiti con materiale di riporto o terra possono essere pressurizzati o depressurizzati in funzione del riempimento.

Ventilazione naturale o ventilazione forzata?

Disponendo di un volume tecnico sotto l'edificio o di un vespaio sufficientemente libero in cui non sono presenti detriti, può essere ipotizzabile, in prima istanza, ricorrere alla ventilazione naturale realizzando delle bucaure di 100 - 120 cm di diametro alla base perimetrale dell'attacco a terra (Fig. 29). Laddove possibile, è preferibile realizzare tali bucaure nei prospetti Nord e Sud con l'accortezza di tenere più alti i fori a Sud per una migliore aereazione.

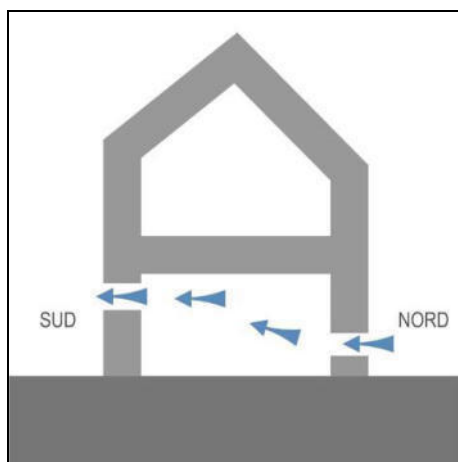


Fig. 29 – Se il volume del vespaio è libero, è possibile valutare la possibilità di una ventilazione naturale del volume.

Se i valori di concentrazione del radon, ottenuti con questa tecnica, non sono soddisfacenti e se si desidera evitare l'uso di ventilatori, un sistema per incrementare la ventilazione naturale è quello di portare in quota una tubazione, oltre il cornicione di gronda (Fig. 30), che grazie ai venti dominanti e all'effetto Venturi riesca a migliorare l'effetto aspirante.

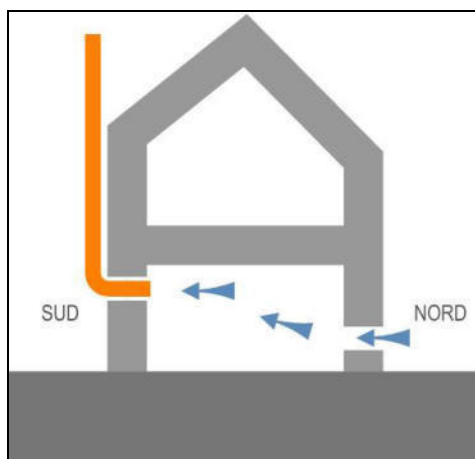


Fig. 30 – Per incrementare la ventilazione naturale di un vespaio vuoto, è possibile portare in quota la tubazione di evacuazione per innescare un effetto Venturi.

In mancanza di risultati soddisfacenti anche con questo accorgimento, è opportuno ricorrere alla posa di un ventilatore collegato alle tubazioni esistenti (Fig. 31).

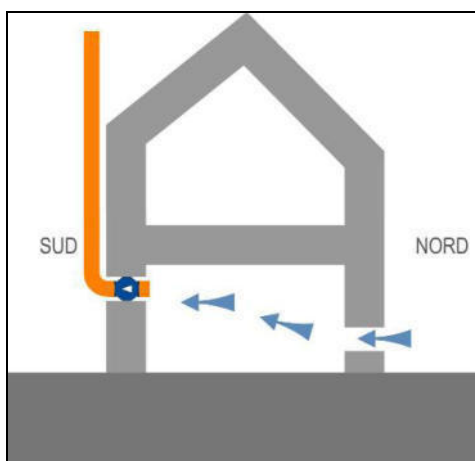


Fig. 31 – In mancanza di risultati adeguati con la ventilazione naturale, sarà necessario utilizzare un ventilatore che potrà essere inserito nella canalizzazione già esistente.

In caso di ventilazione naturale, è indispensabile mantenere aperta una doppia serie di bucare contrapposte – di ingresso e di uscita dell'aria (Fig. 32) – al fine di intercettare il gas ed espellerlo dai fori di uscita. Nel caso di ventilazione forzata, risulta più conveniente sigillare i fori di ingresso dell'aria per realizzare una maggiore depressione/pressione nei confronti del terreno; tale modalità è preferibile in caso di pressurizzazione (Fig. 33).

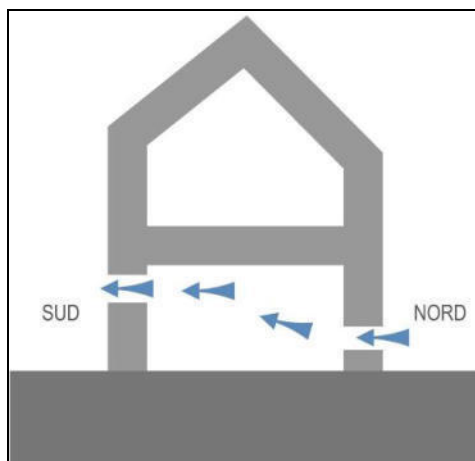


Figura 32 – In caso di ventilazione naturale, dovranno essere presenti bucare su due lati contrapposti dell'edificio, possibilmente Nord-Sud.

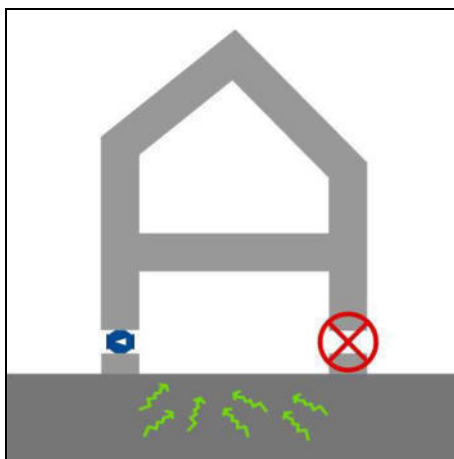


Fig. 33 – In caso di ventilazione forzata tramite ventilatore, dovrà essere presente la sola bocca di aspirazione e chiuse tutte le altre bucatore al Perimetro, in modo che l'impianto agisca nei confronti del terreno e non sull'ingresso dell'aria dalla bucatura contrapposta.

Temporizzazione degli impianti

Le potenze dei ventilatori utilizzati per pressurizzare o depressurizzare variano da 20 a 120 Watt con portate da 200 a 1000 m³/h, a seconda della tipologia costruttiva, dei livelli di concentrazione del gas e della tecnica costruttiva dell'attacco a terra. In certi casi, si tratta di potenze non modeste che possono portare a consumi energetici elevati. È possibile anche temporizzare l'uso dei ventilatori in funzione dei livelli di concentrazione del radon *indoor* e, soprattutto, in funzione della velocità di discesa della concentrazione di radon dopo l'accensione e della sua velocità di risalita dopo lo spegnimento. Questo tipo di valutazione può essere fatto solo con una strumentazione di misura attiva.

Abaco dei materiali sprigionanti radon

Il radon proviene principalmente dal terreno e, attraverso fessure, anche se invisibili, si propaga facilmente nell'ambiente diffondendosi nell'aria. La causa principale della concentrazione di radon nelle abitazioni è che il gas emanato dai terreni si insinua negli ambienti chiusi attraverso i pavimenti, in seguito a flussi dovuti a pressione o concentrazione. L'incidenza dei materiali da costruzione è di solito minore, ma può contribuire a innalzare la concentrazione stessa. Il contributo al radon *indoor* dal suolo può essere stimato intorno al 60 - 70%, mentre quello da materiali edili è valutato tra il 15% e il 20% (UNSCEAR, 2000).

Di seguito, si riporta un elenco non esaustivo dei materiali da costruzione comunemente impiegati nell'edilizia locale, che liberano gas radon (Tab. 1).

Materiali da costruzione	Ra-226Bq/kg		Th-232Bq/kg		K-40Bq/kg	
	<i>Valore medio</i>	<i>Intervallo</i>	<i>Valore medio</i>	<i>Intervallo</i>	<i>Valore medio</i>	<i>Intervallo</i>
Tufo	209	136-316	349	99-542	1861	1245-2335
Pozzolana	164	33-352	229	53-481	1341	374-2000
Lava	473	79-709	230	36-750	1781	426-2350
Ceneri di carbone	160	130-170	130	100-150	420	330-470
Cemento	42	7-98	66	9-240	369	80-846
Basalto	308	113-498	466	175-733	2178	1973-2354
Sienite	317	239-384	234	173-342	1255	1181-1390
Peperino	159	109-256	171	152-231	1422	1312-1790
Calcestruzzo	22	21-23	16	16	237	253-290
Laterizi	29	0-67	26	3-51	711	198-1169
Argilla	37	29-45	40	31-49	550	412-687
Piastrelle	43	31-55	36	18-56	689	474-1026
Sabbia	18	0-24	22	6-27	530	379-750
Ghiaia	15	11-21	14	13-16	157	100-248
Gesso	8	0-16	3	1-8	160	59-277
Calce	9	7-15	6	2-8	265	77-312
Pietra	24	1-31	37	2-96	645	11-1285
Travertino	1	0-2	< 1	0-1	4	1-18
Marmo	4	1-13	1	0-3	8	0-30
Granito	89	24-378	94	36-358	1126	738-1560
Gneiss	87	30-166	71	12-114	1040	496-1480
Beole	63	34-102	48	14-84	1432	1199-1891
Serizzo	31	11-42	42	12-54	782	440-1014
Porfido	41	25-51	59	45-73	1388	1164-1633
Calcare	12	12	1	1	5	5
Ceppo	59	46-64	12	1-47	238	3-942
Trachite	36	36	52	51-54	1154	1154

Tab. 1 – Elenco di materiali da costruzione che liberano gas radon.