



DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA
E GEOAMBIENTALI (DiSTeGeo)



Consiglio Nazionale delle Ricerche



Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

Gruppo di Coordinamento Tecnico Scientifico degli Studi di Microzonazione Sismica nella Regione Puglia

PROTOCOLLI PER LO SVOLGIMENTO DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE DI 1° LIVELLO NELLA REGIONE PUGLIA

Responsabili scientifici:

Vincenzo Del Gaudio (DiSTeGeo) - Piernicola Lollino (CNR - IRPI)

1. Protocollo per la realizzazione della cartografia geologica, geomorfologica e geologico-tecnica, del Modello Geologico di Sottosuolo e della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica
Salvatore Gallicchio, Domenico Capolongo, Gioacchino Francesco Andriani
2. Protocollo per la Rappresentazione ed Archiviazione Informatica dei Dati
Antonella Marsico
3. Protocollo di acquisizione ed elaborazione di registrazioni di rumore sismico ambientale
Vincenzo Del Gaudio
4. Protocollo per l'analisi della Condizione Limite di Emergenza
Piernicola Lollino

Versione 1.0 (Bari, 15.06.2020)

Introduzione

Il documento che segue è stato prodotto nell'ambito all'Accordo di Collaborazione Scientifica firmato il 04/12/2019 tra Regione Puglia, Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica e Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università degli Studi di Bari Aldo Moro, per le attività necessarie allo svolgimento degli Studi di Microzonazione Sismica (MS) di 1°, 2° e 3° livello e delle Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) degli insediamenti urbani afferenti ad alcuni comuni della Regione Puglia. Questo documento raccoglie i protocolli predisposti dal Gruppo di Coordinamento Tecnico Scientifico per supportare i soggetti affidatari degli studi in oggetto attraverso un insieme di raccomandazioni circa le modalità di acquisizione, elaborazione e rappresentazione dei dati necessari alla produzione degli elaborati richiesti per il completamento degli studi di Microzonazione Sismica di 1° livello (MS1), in coerenza con la versione più aggiornata degli standard definiti a scala nazionale dalla Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica (articolo 5, comma 7 dell'OPCM 13 novembre 2010, n. 3907). Ulteriori protocolli verranno preparati propedeuticamente all'avvio della successiva fase degli Studi di Microzonazione di 2° e 3° livello (MS2 – MS3).

I protocolli non hanno un carattere prescrittivo, ma forniscono una guida di riferimento per lo svolgimento delle indagini che verranno condotte dai soggetti affidatari, in modo da indirizzarli verso un prodotto finale che soddisfi i requisiti di qualità degli elaborati richiesti per la loro validazione da parte della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica di 1° livello.

Il documento è suddiviso in 4 capitoli che trattano:

- 1) il protocollo per la realizzazione della Cartografia Geologica, Geomorfologica, Geologico-Tecnica, del modello geologico del sottosuolo e della carta delle microzone omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) (pag. 2);
- 2) il protocollo per la Rappresentazione (Carta delle Indagini) ed Archiviazione Informatica dei Dati (pag. 39);
- 3) il protocollo di acquisizione ed elaborazione di registrazioni di rumore sismico ambientale (pag. 48);
- 4) il protocollo per gli elaborati dell'analisi di Condizione Limite dell'Emergenza (pag.67).

I protocolli forniscono indicazioni di base sulle procedure che si raccomanda di seguire nello svolgimento delle attività previste per una MS1 e sugli standard di rappresentazione dei risultati delle attività di indagine definiti dalle linee guida nazionali. Per approfondimenti su queste tematiche si rimanda alla bibliografia annessa a ciascun protocollo.

In allegato sono riportati gli schemi degli indici delle relazioni finali illustrative dello studio di MS1 e degli elaborati per l'analisi della CLE. Tali indici forniscono una guida alla definizione della struttura complessiva delle attività di studio commissionate agli affidatari.

1. PROTOCOLLO PER LA REALIZZAZIONE DELLA CARTOGRAFIA GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, GEOLOGICO-TECNICA, DEL MODELLO GEOLOGICO DI SOTTOSUOLO E DELLA CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

PREMESSA

Vengono di seguito fornite le linee guida per le attività di raccolta dati e relativa elaborazione della cartografia geologica, geomorfologica e geologico-tecnica necessaria alla realizzazione del modello geologico di sottosuolo e della Carta di Microzonazione Sismica di Livello 1 in cui saranno individuate, per ogni centro abitato, zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e zone suscettibili di instabilità.

In particolare, verranno indicate le procedure per la realizzazione delle seguenti cartografie ed elaborazioni:

- Carta Geologica e Geomorfológica con relative sezioni geologiche e schemi stratigrafico-strutturali e note illustrative alla scala 1:5000
- Carta Geologico-Tecnica corredata di sezioni geologico-tecniche, schemi delle geometrie dei contatti tra le diverse unità geologico-tecniche appartenenti al substrato e alle coperture e note illustrative alla scala 1:5000
- Modello Geologico del Sottosuolo, alla scala 1:5000
- Carta delle Microzone Omogene in Prospettiva Sismica, alla scala 1:5000, mostrandoti la suddivisione del territorio in zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e zone suscettibili di instabilità.

Lo scopo fondamentale della Cartografia Geologica, Geomorfológica e Geologico – Tecnica per gli Studi di Microzonazione Sismica di primo livello (MS1) è quello di arrivare alla ricostruzione di un Modello Geologico del Sottosuolo, sulla base di dati esistenti e di nuovi rilevamenti geologici a grande scala (1:5000), che faccia da riferimento anche a tutte le elaborazioni dei livelli successivi, definendo i vincoli essenziali alla caratterizzazione in prospettiva sismica dell'assetto geologico e dei lineamenti morfologici dell'area di studio.

Schematizzando, si fa presente che per la definizione del Modello Geologico del Sottosuolo dovranno essere eseguite le seguenti fasi di lavoro:

- Raccolta, valutazione e selezione di tutti i dati cartografici, geologici, geomorfologici, geotecnici, geofisici e idrogeologici, disponibili per il territorio comunale (dati di base pregressi e di nuova acquisizione);
- Informatizzazione e archiviazione dei dati di base tramite software GIS, ai fini dell'analisi geologica del sottosuolo; codifica e costituzione dei dataset di sintesi litostratigrafici, geomorfologici, strutturali, geotecnici, geofisici e idrogeologici (elementi areali, lineari e puntuali).
- Estrazione (scelta ponderata) dei dati di base geologici/geotecnici/geofisici utili alla ricostruzione del modello geologico di sottosuolo (stratigrafico-strutturale);

- Definizione dei rapporti stratigrafici, ovvero ricostruzione delle geometrie tra unità del substrato e terreni di copertura, fondamentale per la valutazione di effetti di amplificazione stratigrafica;
- Definizione degli elementi strutturali, geomorfologici e idrogeologici, al fine di valutare la presenza di effetti locali di amplificazione topografica e/o di fenomeni di instabilità;
- Caratterizzazione geologico-tecnica e geofisica dei litotipi individuati ai fini della microzonazione sismica;
- Ricostruzione della stratigrafia sintetica di ogni Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica (MOPS), tenendo conto delle caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi individuati;
- Ricostruzione del modello geologico di sottosuolo di riferimento per l'area di studio.

Nel diagramma di flusso che segue sono ben rappresentate le suddette fasi di lavoro necessarie per la realizzazione del modello geologico del sottosuolo.

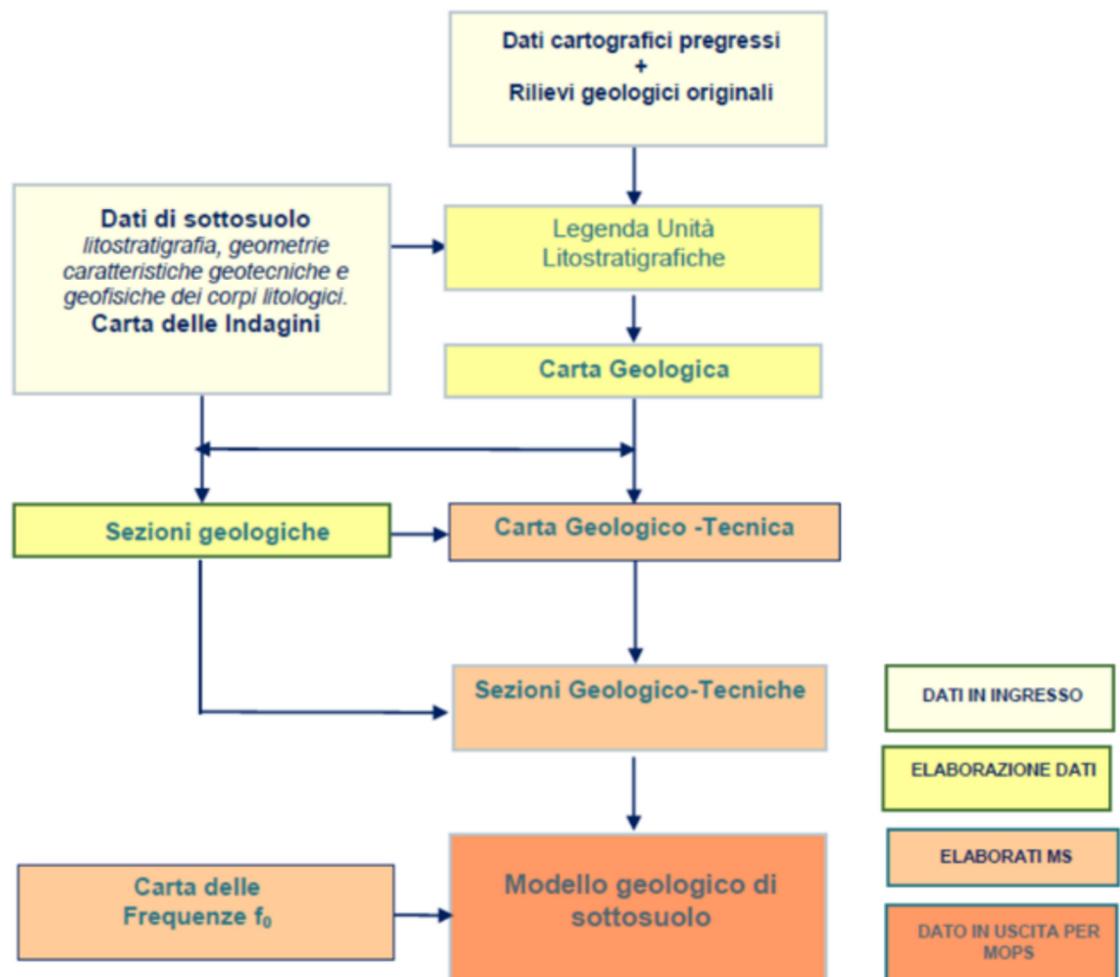


Fig.1.1- Percorso metodologico per arrivare al modello geologico di sottosuolo. Da Castanetto, 2013; modificato in Linee Guida per la Realizzazione della CGT_MS, V1, 2020. Si noti come i dati di sottosuolo contribuiscano sia alla stesura della CGT_MS che all'elaborazione delle SG-T. Fo: frequenze fondamentali del terreno.

I protocolli che seguono riguardano essenzialmente i professionisti incaricati e i Tecnici ASSET, individuati quali affidatari degli studi, e sono stati redatti considerando che:

- *gli affidatari selezionati posseggono i requisiti di esperienza per condurre efficacemente le attività previste dagli incarichi;*
- *le metodologie richieste sono immediatamente applicabili a seguito delle attività formative a favore degli affidatari;*
- *le indagini prevedono l'uso di attrezzature normalmente disponibili nella pratica professionale.*

In particolare per quanto riguarda l'acquisizione dei dati di base pregressi: cartografia geotematica, dati di sondaggi diretti ed indiretti, dati geotecnici, geofisici e idrogeologici, per il territorio comunale dovranno essere ricercati e reperiti dai professionisti incaricati o dai tecnici ASSET presso: strutture scientifiche (Università, CNR, Servizio Geologico Nazionale), pubblicazioni scientifiche e strutture pubbliche (Regione, Province, Comuni, Enti Parchi, Consorzio di Bonifica, Ente Ferrovie, Anas, ecc..), ma anche presso privati quando possibile. Per una descrizione dettagliata di tutta la tipologia del materiale utile pregresso si fa riferimento a quanto riportato sulle Linee Guida per la Realizzazione della Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica *Versione 1* (CTMS, 2020a).

Si rimarca comunque l'importanza dei nuovi lavori del rilievo geologico, geologico-tecnico e geomorfologico da effettuare in tutti i livelli di approfondimento. Le informazioni tratte dalle fonti di letteratura possono, infatti, solo integrare i dati raccolti in situ, assolutamente necessari per garantire la qualità dei risultati finali.

A conclusione di questo paragrafo introduttivo, si sottolinea che le linee guida indicate in questo protocollo sono in linea con quanto già espresso in Martini (2011), negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS 08, Gruppo di Lavoro MS, 2008), negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS", versione 4.2beta (CTMS, 2020b) e nelle Linee Guida per la realizzazione della Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica con adattamento ai contesti vulcanici, versione 1.0 (CTMS, 2020a), approvati dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) e con quanto è disponibile online ai seguenti portali dedicati alla Microzonazione Sismica Nazionale: <http://www.webms.it/>; <https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/>).

1. CONTENUTI E RAPPRESENTAZIONE DELLE CARTE

In questo paragrafo si intende chiarire quali siano i contenuti della Carta Geologica-Geomorfologica (CG_G) e i relativi elementi da trasferire alla Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS), in quanto informazioni fondamentali per la realizzazione degli studi di MS.

La CG_G, costituisce la sintesi dei dati cartografici, pregressi e di nuova realizzazione, alla quale riferire tutti i dati geologici (stratigrafici, strutturali e morfologici), di superficie e di sottosuolo, disponibili. Essa rappresenta quindi un documento oggettivo dello stato delle conoscenze del territorio. La CGT_MS rappresenta, invece, il frutto della interpretazione integrata di dati geologici, geotecnici e geofisici (di superficie e di sottosuolo) per la definizione delle unità geologico-tecniche e per la ricostruzione della loro geometria tridimensionale.

La significatività della CGT_MS è quindi fortemente dipendente dalla qualità della carta geologica e dall'affidabilità dei dati di sottosuolo pregressi.

Secondo Albarello (2011) nella valutazione complessiva della qualità della cartografia geologica e geomorfologica pregressa si devono tenere in considerazione i seguenti aspetti:

- l'adeguatezza della scala di rilevamento e di rappresentazione dei dati di terreno;
- l'anno di produzione e pubblicazione del dato cartografico;
- affinità dello studio di provenienza dei dati cartografici utilizzati con gli scopi della MS.

Si precisa che per quanto riguarda l'anno di produzione, è un fattore che assume importanza soprattutto per quanto riguarda i terreni di copertura e i corpi di frana.

Si fa presente che ai fini della redazione della CGT_MS, seppure sia consentito l'utilizzo di dati di letteratura, è cruciale la preventiva valutazione della cartografia geologica esistente e la sua integrazione con rilievi geologici di nuova realizzazione. Quest'ultima evenienza è necessaria laddove la cartografia pregressa risulti inadeguata per la scarsa qualità dei dati riportati e/o per l'uso di una scala di rilevamento e rappresentazione inferiore a 1:10.000. In questi casi, sarà dunque necessario integrare i dati pregressi con un rilievo geologico e geomorfologico originale, svolto appositamente per lo studio di MS ad una scala > 1:10.000 ed esteso ad un areale significativo per la ricostruzione del modello geologico di sottosuolo, tale da coprire aree sufficientemente vaste che includano al loro interno quelle da microzonare.

Distinzione tra CG_G e la CGT_MS

La CG_G è generalmente basata sulla distinzione di unità litostratigrafiche e o di unità tettoniche, definite sulla base delle proprie caratteristiche litologiche e della loro posizione nell'ambito di successioni stratigrafiche o di unità tettoniche sovrapposte. La CG_G fornisce quindi gli elementi per una immediata individuazione dei rapporti geometrici tridimensionali tra le diverse unità litostratigrafiche e tettoniche sia in superficie che in profondità.

La CGT_MS è una rielaborazione della CG nella quale le unità litostratigrafiche vengono ridefinite sulla base delle loro caratteristiche fisiche e meccaniche e attribuite alle categorie: a) Terreni di Copertura (depositi incoerenti e pseudo-coerenti poco consolidati); b) Substrato Geologico (depositi litoidi e pseudo-coerenti consolidati).

Il significato di substrato e terreni di copertura utilizzato nelle CGT_MS coincide in genere, ma non necessariamente, con quella normalmente riportata nelle carte geologiche e geomorfologiche; per maggiori approfondimenti vedasi le Linee Guida CGT_MS, versione 1 (CTMS, 2020a).

Le codifiche delle unità litotecniche e la loro attribuzione ai terreni di copertura o al substrato nonché la ricostruzione dei rapporti stratigrafici tra Terreni di Copertura e unità del Substrato Geologico, devono essere necessariamente operate nel corso della realizzazione degli studi di MS in funzione del modello geologico che si intende proporre, basandosi sulle definizioni di Substrato e Terreni di copertura riportate negli ICMS 08, nelle L.G. CGT_MS (CTMS, 2020a) e negli Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica v 4.2beta (CTMS, 2020b).

1.1 LA CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

La Carta Geologico-Geomorfologica di base è il documento da cui si deve partire per arrivare alla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.

I rilievi geologici e quelli geomorfologici dovranno essere condotti in stretta correlazione ed in accordo con i responsabili scientifici, e potranno essere integrati tra di loro in un unico prodotto

cartografico. In particolare, per i rilievi geomorfologici, la fase di lavoro sul terreno dovrà essere preceduta da una prima fase di esame stereoscopico di foto aeree, riferite a campagne di riprese aeree che, in date diverse, avranno interessato la zona di esame (analisi multitemporale), dalla quale si possa evincere non solo la presenza di particolari elementi morfologici e fenomenologie, ma anche eventuali indicazioni riguardo allo stato di attività delle stesse. La successiva fase di rilievo sul terreno vedrà la verifica di quanto desunto dalla fotointerpretazione e permetterà il rilievo in situ dei dettagli necessari per gli studi di MS.

La carta geologica e geomorfologica di base deve essere funzionale alla elaborazione della carta geologico-tecnica per la microzonazione e dovrà avere come obiettivo principale il raggiungimento dei seguenti risultati:

- mappatura e caratterizzazione dei Terreni di Copertura (inclusi quelli di natura antropica) con particolare riferimento a quelli con spessore > 3-5 m;
- rappresentazione dettagliata di tutte le forme ed elementi geomorfologici (superficiali e sepolti) che possono influenzare ed essere influenzati dai fenomeni di amplificazione sismica, compreso i fenomeni gravitativi di versante e i caratteri idrogeologici dell'area;
- rilievo del Substrato Geologico con indicazione dei caratteri litostratigrafici e strutturali e/o stima della profondità del substrato qualora non affiorante
- Riconoscimento della geometria della superficie di contatto Terreni di Copertura / Substrato Geologico e delle superfici di contatto tra le differenti unità che costituiscono sia il substrato geologico che i terreni di copertura;
- Individuazione, caratterizzazione e cartografia degli elementi strutturali ed in particolar modo delle faglie capaci ed attive e delle fasce cataclastiche o intensamente fratturate associate alle strutture tettoniche.

La distinzione e la mappatura areale di tutte le unità litostratigrafiche riconducibili sia ai Terreni di Copertura che al Substrato Geologico dovrà essere basata sui criteri e i principi della stratigrafia. Nell'ambito delle unità litostratigrafiche (formazioni o eventualmente sintemi per le coperture) potrà essere necessario individuare unità omogenee di rango inferiore (come ad esempio membro e/o litofacies) con peculiari caratteristiche litologiche e tessiturali, passibili di potenziale risposta sismica differente. Per ogni unità sarà necessario definire spessore, composizione, granulometria prevalente, grado di alterazione, grado di fratturazione e consistenza ed andamento delle superfici che le delimitano superiormente, inferiormente e lateralmente e possibile correlazione con unità litostratigrafiche riconosciute a scala regionale. Lo spessore minimo dei livelli litostratigrafici da differenziare nel substrato deve essere maggiore o uguale di 10 m; mentre per quanto riguarda le coperture, dovranno essere cartografate e differenziate per spessori superiori a 3 m. Per ognuna delle coperture è necessaria una adeguata descrizione che permetta, oltre alla definizione dei caratteri litologici, anche l'univoca attribuzione ad un determinato ambiente genetico-deposizionale. Nell'esecuzione dei rilievi e nella rappresentazione in carta è opportuno, ove possibile, associare ai depositi di copertura le forme caratteristiche, diagnostiche della loro genesi (es. falda detritica, terrazzo alluvionale, ecc.).

Operando generalmente in aree urbanizzate con scarsità di affioramenti, la descrizione delle unità e i relativi dati fisico-meccanici in gran parte derivano dalle stratigrafie di sondaggi e dalle analisi di campioni prelevati in perforazioni geognostiche.

Nel caso di pochi dati pregressi di sottosuolo disponibili, è opportuno integrare gli studi con rilievi geologici originali su areali estesi anche al di fuori delle aree urbanizzate, in cui siano ben esposti in superficie, con le relative geometrie, gli stessi orizzonti che costituiscono il sottosuolo da

investigare. Si introduce così il concetto di “areale significativo” della CG, la cui estensione minima è quella che comunque garantisca una soddisfacente ricostruzione delle geometrie tridimensionali del sottosuolo delle aree da microzonare e la possibilità di accesso ad affioramenti ben esposti degli orizzonti stratigrafici che lo costituiscono. Per un maggiore dettaglio a riguardo si può far riferimento alle L.G. della CGT_MS versione 1 (CTMS, 2020a) e agli ICMS (2008).

1.1.1 Elementi geomorfologici superficiali e sepolti pertinenti la pericolosità sismica

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici, l'affidatario incaricato dovrà rilevare le caratteristiche geomorfologiche dell'area e dovrà portare alla formulazione di ipotesi relative alla possibilità di deformazioni superficiali permanenti associate ad elementi tettonici attivi che possano generare movimenti sismici (es. faglie capaci), oppure ad elementi morfologici che costituiscono potenziali fattori di incremento della pericolosità sismica. In questo senso si pensi alle forme, superficiali o sepolte, che possono dare origine a fenomeni di amplificazione del moto del suolo (amplificazione topografica) e alle forme suscettibili di instabilità indotta dagli scuotimenti sismici, quali le cavità sotterranee anche di origine antropica, le superfici suscettibili a cedimenti differenziali, i depositi sabbiosi saturi liquefacibili e le varie tipologie di scarpate marginalmente stabili.

La legenda geomorfologica dovrà contenere tutti gli elementi utili per l'identificazione di: zone suscettibili di instabilità del versante; forme di superficie suscettibili di amplificazione morfologica; forme/elementi sepolti suscettibili di effetti 2D o di cedimenti differenziali (tabella 1).

In particolare per gli elementi geomorfologici, molta attenzione deve essere data:

- alla presenza di morfologie caratteristiche e suscettibili di amplificazioni quali scarpate, creste e picchi, raccomandando la loro classificazione secondo criteri morfogenetici (agente responsabile del modellamento), morfodinamici (stato di attività) e morfometrici (dimensioni);
- ai movimenti franosi che dovranno essere distinti per tipologia prevalente di movimento e stato di attività (vedi anche paragrafo successivo);
- alle cavità e sprofondamenti di origine naturale;
- alle forme e cavità legate all'attività antropica.

In particolare per gli elementi tettonico-strutturali, particolare attenzione deve essere rivolta:

- ad osservazioni strutturali di dettaglio degli specchi di faglia che interessano le rocce del substrato, anche per prevederne l'andamento in profondità;
- all'osservazione delle evidenze morfologiche di scarpate di probabile origine tettonica e di dislocazioni di superfici erosive o di corpi deposizionali quaternari;
- al rilevamento del maggior numero di dati che riguardano faglie attive e capaci, sia da letteratura sia ex-novo, basandosi, ad esempio, sulle evidenze di rotture cosismiche associabili ad eventi noti.

Tabella 1.1 – Elementi geomorfologici areali, lineari e puntuali per la redazione della Carta geologico-tecnica per gli studi di MS (Martini et al 2011).

Elementi AREALI	Elementi LINEARI	Elementi PUNTUALI
<p>FORME DI SUPERFICIE</p> <p>INSTABILITA' VERSANTE Perimetrazione dell'area di frana con poligono a differente colorazione (che si sovrappone al poligono della litologia) secondo l'attività:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) attiva b) quiescente c) inattiva d) non definita <p>Retino sovrapposto per:</p> <ul style="list-style-type: none"> • crollo o ribaltamento • scorrimento • colata • frana complessa • non definita <p>ALTRI ELEMENTI</p> <p>Retini sovrapposti al poligono della litologia per:</p> <ul style="list-style-type: none"> • conoide alluvionale • falda detritica <p>FORME SEPOLTE Retino sovrapposto al poligono della litologia per:</p> <ul style="list-style-type: none"> • area con cavità (o area con notizie di sprofondamenti avvenuti nel passato) <p>ALTRE FORME</p> <ul style="list-style-type: none"> • elementi antropici • forme carsiche • forme glaciali • superfici di erosione • ... 	<p>FORME DI SUPERFICIE Elementi grafici lineari per:</p> <ul style="list-style-type: none"> • orlo scarpata morfologica <ul style="list-style-type: none"> a) 10-20 m b) > 20 m • orlo terrazzo fluviale <ul style="list-style-type: none"> a) 10-20 m b) > 20 m • cresta <p>FORME SEPOLTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • scarpata sepolta • valle sepolta stretta ($C \geq 0.25$) • valle sepolta larga ($C < 0.25$) <p>$C = H/L/2$ con H profondità della valle e L, semilarghezza della stessa</p> <p>ALTRE FORME</p> <ul style="list-style-type: none"> • elementi antropici • forme carsiche • forme glaciali • ... 	<p>FORME DI SUPERFICIE Elementi grafici puntuali per:</p> <ul style="list-style-type: none"> • picco isolato <p>FORME SEPOLTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • cavità isolata <p>ALTRE FORME</p> <ul style="list-style-type: none"> • elementi antropici • forme carsiche • forme glaciali • ...

1.1.2 Elementi idrogeologici ed instabilità di versante

Per quanto attiene alle tematiche idrauliche e idrogeologiche, l'affidatario incaricato dovrà focalizzarsi principalmente sulla possibilità che l'area possa essere interessata da frane, da flussi detritici o *debris flow* (per i quali andrà considerata una eventuale coincidenza tra le condizioni sismiche ed idrauliche che possano scatenare tali fenomeni) o da possibili effetti di liquefazione. In

questo senso il lavoro sarà orientato alla verifica delle tipologie di frana segnalate nell'area e riportate nelle cartografie e nelle banche dati ufficiali disponibili.

Le indicazioni sulle modalità di rilevamento geologico e geotecnico di coperture, ammassi rocciosi o frane già esistenti, potenzialmente instabili per effetto di azioni sismiche, nonché sui prodotti cartografici nei quali dovranno essere indicate le instabilità rilevate, saranno forniti in maggior dettaglio nel paragrafo successivo. Va sottolineato che anche per zone soggette a fenomeni di instabilità, allo scopo di consentire la modellazione della risposta sismica locale è necessario definire apposite colonne lito-stratigrafiche rappresentative che dovranno essere riportate nella relazione geologico tecnica a corredo della Microzonazione di Livello 3. Da questa analisi sono però escluse quelle caratterizzate da un livello di pericolosità da frana R3 e R4 secondo la classificazione PAI.

Per quanto riguarda la cartografia e la caratterizzazione dei versanti soggetti a fenomeni gravitativi, questi ultimi andranno approfonditi:

- *raccogliendo gli archivi esistenti per la tematica (es. IFFI – ISPRA, 2007; PAI, 2001; cartografie geologico-geomorfologiche esistenti, Piani Regolatori e Strutturali etc.)*
- *analizzando criticamente le geometrie, le tipologie e lo stato di attività*
- *dove ritenuto necessario, effettuando rilievi di campagna ex-novo per determinare le geometrie corrette e le forme associate*
- *cartografando le forme associate, sia lineari sia puntuali, utili a definire il tipo prevalente di movimento e lo stato di attività, quali le scarpate di frana principali e secondarie, la presenza di gradini, fessurazioni, contropendenze ecc.*
- *effettuando sezioni topografiche e geologiche speditive e di dettaglio per ipotizzare le principali geometrie e gli spessori coinvolti.*

Nei casi più sensibili, si suggerisce infine un'analisi multi-temporale a partire dalle foto aeree più antiche (in genere, 1954) per valutarne i tassi di evoluzione e lo stato di attività. Ove necessario si utilizzeranno anche le informazioni derivate dall'analisi del Modello Digitale del Terreno, nel dettaglio disponibile. In particolare, ove disponibili si utilizzeranno i dati LIDAR del ministero dell'ambiente che ricoprono gran parte delle aree di indagine.

I fenomeni gravitativi saranno suddivisi in:

a) Frane in roccia: la cui fenomenologia verrà definita tramite un'analisi strutturale delle giaciture evidenziando scivolamenti planari, di cunei 3D, ribaltamenti o crolli. Gli accumuli di frana osservabili dovranno essere rilevati associando una descrizione delle dimensioni dei blocchi e identificando, dove possibile, le aree sorgenti. Alla loro caratterizzazione si dovrà accompagnare la cartografia delle forme associate e, dove possibile, una stima speditiva di alcuni parametri degli ammassi rocciosi, quali orientazione, frequenza, estensione e tipo di discontinuità.

b) Frane in terra: dovranno essere identificati e mappati gli indicatori di instabilità di tipo geomorfologico, includendo effetti sulla componente antropica. Dovranno essere identificati e mappati fenomeni di instabilità già esistenti sia nel caso che essi siano inventariati in cataloghi (es. IFFI e PAI) sia nel caso che essi vengano osservati nel corso del rilevamento.

Nel caso di flussi detritici (*debris flow*), dovranno essere rilevati i depositi e le aree di alimentazione degli stessi.

Per la definizione e delimitazione delle Zone di Attenzione (ZA) e per le Zone di Suscettibilità (ZS) riferite alle tipologie di instabilità riconosciuta da ICMS nelle sue linee guida (ovvero frane, fenomeni

di liquefazione, faglie attive e capaci, faglie potenzialmente attive e capaci), l'indirizzo è che gli affidatari incaricati si occupino della sola perimetrazione delle ZA. Non si prevede, pertanto, se non in futuri approfondimenti di livello 3 degli studi sulle instabilità, che vengano delimitate e cartografate Zone di Rispetto (ZR) per nessuna delle tipologie di instabilità riconosciute da ICMS nelle sue Linee Guida. In tal senso, indicazioni specifiche e criteri di identificazione, perimetrazione e cartografia delle ZA e ZS, sono fornite nel "Documento di indirizzo alla trattazione delle instabilità nei prodotti di livello 3 previsti dalla ordinanza n°24 del 12/05/2017" redatto dalla Unità Operativa Trasversale Instabilità (relativa alla MS dell'Italia centrale) e illustrato nel capitolo successivo. Nel caso di aree a franosità diffusa (o DGPV – Deformazioni Gravitative Profonde di Versante) si suggerisce di sostituire le ZA_{FR} con una MOPS già a partire dalle carte di Microzonazione sismica di Livello 1.

1.1.3 Elementi tettonico-strutturale.

Per quanto riguarda gli Elementi tettonico-strutturali, particolare attenzione deve essere rivolta: a) *alla caratterizzazione di dettaglio degli specchi di faglia che interessano le rocce del substrato, anche per prevederne l'andamento in profondità;* b) *all'individuazione delle evidenze morfologiche di scarpate di probabile origine tettonica e di dislocazioni di superfici erosive o di corpi deposizionali quaternari;* c) *al rilevamento del maggior numero di dati che riguardano faglie attive e capaci, sia da letteratura sia ex-novo, basandosi, ad esempio, sulle evidenze di rotture cosismiche associabili ad eventi noti.*

1.1.4 – Altre raccomandazioni ed accorgimenti per il completamento delle carte geologiche e la realizzazione degli elementi a contorno e della relazione di accompagnamento

Nelle aree urbanizzate sarà cura del rilevatore acquisire ogni informazione presso tecnici locali e cittadini, utili per la mappatura e caratterizzazione degli elementi non affioranti (ad esempio stima della profondità del piano di posa delle fondazioni, presenza di riporti antropici, ecc.).

Nel disegno della carta geologica dovrà essere applicato il metodo di colorare con una marcatura maggiore le aree di reale affioramento dell'unità litostratigrafica; inoltre, riguardo agli affioramenti più significativi, questi dovranno essere numerati progressivamente e per ognuno di essi dovranno essere compilate apposite schede (fornite dal Gruppo di coordinamento scientifico), con commento, illustrazioni grafiche e fotografiche.

Il riferimento base per la legenda, soprattutto in termini di sigle, colori e simbologia, dovrà essere quello indicato negli Standard di Rappresentazione della Microzonazione Sismica (CTMS, 2020) ed eventualmente alle indicazioni del progetto CARG del Servizio Geologico Italiano (SGI – ISPRA, 1988) adattate e modificate in relazione alla diversa scala di rilievo e alle esigenze di uniformità. Per i depositi di copertura potrà essere necessario l'utilizzo di sovrassegni per favorire la lettura diretta delle caratteristiche litologiche e tessiture (probabilmente corrispondenti a caratteristiche fisico-meccaniche differenti); anche per i sovrassegni sarà fatto riferimento a quelli degli Standard di Rappresentazione della Microzonazione Sismica (CTMS, 2020) in modo da permettere una chiave di lettura comune.

Nelle carte geologiche, inoltre, dovranno essere ubicate le indagini geognostiche più significative utilizzate per la ricostruzione del modello geologico (eventuali sondaggi diretti, prove DH, prove penetrometriche, linee sismiche e altre tipologie di prove previste nell'ambito dello studio di MS o preesistenti). La sigla identificativa dell'indagine potrebbe essere costituita da un campo

alfanumerico di cui: • la prima parte sarà rappresentata da un codice numerico progressivo tra tutte le indagini, univoco per ogni comune; • la seconda parte definirà la provenienza del dato.

Le sezioni geologiche saranno eseguite secondo una griglia orientata in funzione della disposizione nello spazio dei corpi geologici, della topografia e degli elementi morfologici e strutturali dell'area, e non potranno essere in numero inferiore a due. In esse devono essere chiaramente indicati: a) la superficie di separazione tra substrato e copertura, l'assetto tettonico del substrato, ed eventuali superfici ed elementi legati a fenomeni di amplificazione sismica (superfici di separazioni tra le diverse unità litostratigrafiche che costituiscono le coperture e il substrato, faglie capaci, fenomeni di instabilità superficiali, ecc.).

La Relazione illustrativa della carta dovrà essere redatta secondo le norme degli Standard di Rappresentazione della Microzonazione Sismica (CTMS, 2020) ed eventualmente integrate con quanto indicato nel progetto CARG, indicate sui quaderni per la realizzazione della cartografia geologica alla scala 1:50.000 del SGI.

E' molto utile, inoltre, che nella "Relazione tecnica", elaborato di accompagnamento degli studi di MS, venga brevemente offerto un quadro sinottico delle carte geologiche disponibili per l'area, utilizzate per comporre la CG di base, nel quale vengano evidenziate le problematiche aperte che, nei casi più semplici, saranno risolte con la stesura della CGT_MS e la ricostruzione del modello di sottosuolo per gli studi di MS di livello 1 e, nei casi più complessi, richiederanno l'acquisizione di dati da nuove indagini da pianificare negli stadi di avanzamento successivi.

La cartografia geologica dovrà essere continuamente aggiornata e controllata in relazione ai risultati delle indagini geotecniche e geofisiche che verranno effettuate successivamente nell'ambito dei progetti di MS o di adeguamento sismico e messa in sicurezza di edifici pubblici e/o strategici.

1.2 LA CARTA GEOLOGICO – TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

La realizzazione della Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS) è lo step successivo a quello della Carta Geologico-Geomorfologica. Nella CGT_MS e dal modello geologico da essa derivato si dovranno poter ricavare tutti quegli elementi necessari e funzionali per la realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (livello 1 Carta delle MOPS). Si specifica che nella CGT_MS dovranno essere evidenziate, oltre alla complessità geologica dell'area, tutte quelle criticità che necessitano di essere approfondite nei livelli successivi degli studi di MS.

La CGT_MS è il risultato della sovrapposizione di una serie di tematismi (litostratigrafia, geomorfologia, geologia strutturale, idrogeologia, caratteristiche geologico tecniche e geofisiche) proprie della Carta Geologico-Geomorfologica e delle indagini geognostiche pregresse e di una serie di ulteriori misurazioni ed indagini geognostiche in situ e in laboratorio preventivate per il livello di microzonazione sismica in corso. In termini generali, la CGT_MS, è da considerarsi una carta geologico-geomorfologica nella quale sono evidenziati, oltre ai caratteri litostratigrafici, geomorfologici, strutturali ed idrogeologici anche quei caratteri geomeccanici e geofisici dei corpi geologici dell'area che risultano legati alla velocità di propagazione delle onde sismiche e che possono essere responsabili dei fenomeni di amplificazione sismica locale in occasione di eventi sismici.

Ciò nonostante, le informazioni cronostratigrafiche e deposizionali, proprie della carta geologica s.s., dovranno essere conservate e contribuiranno comunque alla stesura della carta geologico-tecnica finale.

L'unità di base di una CGT_MS e del suo modello geologico è rappresentata dall'unità geologico-tecnica. Si tratta di unità litologiche con proprietà fisico meccaniche omogenee derivate dalle unità litostratigrafiche classiche individuate durante la realizzazione della carta geologico-morfologica; le unità geologico-tecniche possono essere parte di un'unità litostratigrafica classica, che potrebbe essere suddivisibile in più unità litologico-tecniche, o comprendere più unità litostratigrafiche in quanto caratterizzate dalle stesse proprietà fisiche e meccaniche.

Le unità geologico-tecniche andranno distinte tra terreni di copertura e substrato geologico, giungendo ad una standardizzazione delle informazioni relative agli aspetti geologici e litotecnici. La suddivisione dei litotipi in classi predefinite secondo quanto indicato negli Standard di Rappresentazione (CTMS, 2020), permette di identificare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità.

Per la descrizione delle unità litologico-tecniche dei terreni di copertura, dovrà essere utilizzato l'*Unified Soil Classification System* (leggermente modificato, ASTM D2487-00, 2000), un sistema di classificazione dei suoli utilizzato sia in ingegneria sia in geologia, che può essere applicato alla maggioranza dei materiali sciolti ed è composto da una sigla formata da 2 lettere. Indicazioni importanti, soprattutto sulla geometria 2D dei corpi litologici, sono fornite dalle identificazioni degli ambienti genetico-deposizionali.

Le unità litologico-tecniche del substrato geologico verranno identificate e descritte tenendo conto di: a) tipologia (lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi; ii) stratificazione (p.es. stratificato, non stratificato); iii) grado di fratturazione o alterazione superficiale.

Per la rappresentazione cartografica delle suddette unità (colori, sigle e codici) e per la loro descrizione in legenda e nella relazione illustrativa dovranno essere utilizzati le indicazioni degli ICMS e degli Standard di Rappresentazione su menzionati.

Per l'individuazione delle unità geologico tecniche saranno necessari rilievi geologici finalizzati che dovranno rivolgere particolare attenzione: i) alla mappatura dei terreni di copertura e delle morfologie superficiali indicative di fenomeni di instabilità; ii) all'identificazione di elementi geomorfologici di rilevanza ai fini di processi amplificativi di sito; iii) al rilevamento geomeccanico degli affioramenti di ammassi rocciosi fratturati e/o eterogenei del substrato e dei terreni di copertura. Tali approfondimenti dovranno essere realizzati mediante la compilazione di apposite schede che saranno allegate al protocollo in oggetto (p.es. Scheda raccolta dati per descrizione coperture, scheda raccolta dati rilievo geomeccanico, scheda raccolta dati per rilevamento frane) attenendosi scrupolosamente a quanto prescritto negli Standard di Rappresentazione (CTMS, 2020).

In base a quanto detto i dati geologici e geomorfologici da utilizzare per la redazione della Carta Geologico-Tecnica dovranno essere quanto più esaustivi sui seguenti elementi chiave:

- 1) La determinazione dei caratteri litologici e stratigrafici delle unità geologiche affioranti e presenti nel sottosuolo, per una loro univoca attribuzione alle diverse categorie di unità geologico-tecniche di copertura o del substrato geologico (con la determinazione dell'ambiente genetico-deposizionale e dell'età) come previsto negli indirizzi e criteri e negli standard di rappresentazione;

- 2) L'identificazione delle unità con caratteristiche di bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s), assimilabile al substrato di riferimento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18, 2018), nelle quali il moto sismico è assunto noto a partire da stime a carattere regionale;
- 3) La determinazione geometrica (sia in pianta che in sezione) delle interfacce rappresentative di possibili contrasti di impedenza sismica, all'interno delle successioni delle unità di copertura, al contatto coperture-substrato geologico e al tetto delle unità con comportamento da substrato sismico di riferimento, potenzialmente responsabili di fenomeni di amplificazione locale del moto sismico;
- 4) L'identificazione delle aree soggette a potenziali fenomeni d'instabilità e deformazione permanente indotti dallo scuotimento sismico (frane, fenomeni di liquefazione, cedimenti differenziali e fagliazione superficiale).

Nella tabella di Fig. 1.2 sono schematizzati tutti quegli elementi da evidenziare in una Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica.

Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)	Terreni di copertura
	Ambiente genetico e deposizionale
	Substrato geologico
	Instabilità di versante
	Forme di superficie e sepolte, comprensive di alcuni elementi lineari e puntuali
	Elementi tettonico strutturali
	Elementi geologici e idrogeologici

Fig.1.2 Standard per la rappresentazione sismica

1.3 DEFINIZIONE DI SUBSTRATO GEOLOGICO, SUBSTRATO SISMICO E TERRENI DI COPERTURA E LORO INDIVIDUAZIONE E CARATTERIZZAZIONE IN UNA CGT_MS

Una delle operazioni fondamentale per la realizzazione della CGT_MS è quella di operare l'attribuzione delle unità geologico tecniche al Substrato (SG o SS) o ai Terreni di Copertura (TC) secondo le indicazioni riportate negli Indirizzi e Criteri e negli Standard di Rappresentazione della Microzonazione sismica. Tra i Terreni di copertura, ad esempio, possono rientrare solo i terreni sciolti, anche se fortemente addensati, e argille non consolidate, mentre tutte le tipologie litologiche compatte vanno catalogate utilizzando le codifiche previste per le unità appartenenti al Substrato Geologico. A tale proposito va notato che la suddivisione Substrato/Coperture non coincide necessariamente con quella normalmente riportata nelle carte geomorfologiche di base, dove la

suddivisione tra “substrato” e “formazioni superficiali” è indipendente dal grado di cementazione ed età, ma dipende solo da considerazioni sull’evoluzione morfologica di una determinata area.

Substrato Geologico (SG)

È costituito da rocce e corpi sedimentari compatti e rigidi, in genere di età pre-quadernaria, che non hanno subito processi di alterazione e degrado o deformazioni tettoniche pervasive, che affiorano in superficie o presenti in sottosuolo e costituiscono la base su cui poggiano in discordanza o discontinuità stratigrafica rocce e corpi sedimentari meno compatti o alterati o sedimenti sciolti, in genere a bassa rigidità, chiamati con il termine generale di Terreni di Copertura (TC). Rientrano tra le tipologie di rocce ascrivibili al SG le rocce cristalline di origine magmatica plutonica e metamorfica, le rocce sedimentarie delle successioni meso-cenozoiche, gran parte delle rocce vulcaniche. Sono altresì da attribuire al SG tutti i terreni di età quadernaria che abbiano subito compattazione per processi diagenetici, prima della loro esumazione ed esposizione in superficie o le formazioni superficiali recenti che, sebbene si siano sviluppate in connessione con l’evoluzione del paesaggio, risultano oggi ben cementate. Il SG non corrisponde necessariamente al Substrato di Riferimento o al Substrato Sismico. Nella definizione di Substrato Geologico rientrano numerose categorie di rocce che non soddisfano il requisito di rigidità richiesto per essere ritenute Substrato Sismico ($V_s > 800$ m/s) né, localmente, comportano contrasti d’impedenza significativi con i soprastanti Terreni di Copertura. Per questa tipologia di substrato, è stato introdotto il concetto di Substrato Lento (SL, es. litofacies pelitiche consolidate, marnose ecc.) coincidente con il concetto di “*substrato non rigido*”, precedentemente adottato nei vecchi standard di rappresentazione.

In presenza di substrato lento e di soprastanti terreni di copertura, nella conversione del modello geologico di sottosuolo in quello geologico-tecnico, è importante integrare il dato geologico con quello geofisico al fine di verificare l’esistenza di contrasti d’impedenza significativi, in corrispondenza dell’interfaccia tra substrato “lento” e i soprastanti terreni di copertura. Questi ultimi, infatti, in caso di particolari condizioni di cementazione e di miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, potrebbero costituire un efficiente substrato sismico. Pertanto, è raccomandabile che già nella formulazione del Modello Geologico di sottosuolo realizzato in MS1 o comunque in fase di pianificazione delle indagini per gli studi di MS3, il geologo evidenzii ipotesi di previsione del comportamento atteso in termini di V_s delle diverse unità classificate sia come Terreni di Copertura sia come Substrato Geologico.

Per una caratterizzazione esaustiva del Substrato Geologico, i dati raccolti dovranno consentire la definizione dei seguenti aspetti fondamentali: a) litologia; b) età assoluta o relativa e, dove è possibile, correlazione con formazioni o altre unità cronostatigrafiche già descritte in letteratura; c) caratteristiche fisiche: colore, granulometria, tipo di stratificazione, competenza, variabilità latero-verticale; d) distribuzione, grado ed estensione delle zone intensamente fratturate (vedi oltre); e) distribuzione, grado ed estensione delle zone di degradazione ed erosione; f) suscettibilità al franamento.

A completamento delle indagini, l’obiettivo principale (che potrà essere raggiunto anche nei successivi livelli di MS2 ed MS3) dovrà consistere nella indicazione di quali unità litologico-tecniche che costituiscono il substrato possano essere convertite in unità geologico-tecniche assimilabili, per il loro comportamento, al Substrato di Riferimento. Questo obiettivo primario deve guidare la progettazione del piano delle indagini, con la selezione delle tipologie ed ubicazioni delle indagini geotecniche e geofisiche più opportune, per ottenere i dati analitici a supporto della stima qualitativa della rigidità dei materiali fornita in fase di realizzazione della MS1.

Con il passaggio alla Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS), tra i caratteri da prendere in considerazione per la suddivisione delle unità litostratigrafiche del substrato in unità litologiche tecniche sono da annoverare: a) assetto giaciturale, con particolare attenzione alla relazione stratificazione-versante; b) spessore degli strati; c) individuazione e stima dello spessore delle unità pelitico-marnose, con particolare attenzione agli ammassi caotici che possono anche contenere olistoliti di altri litotipi; d) *nelle alternanze di litotipi, rapporto tra peliti/marne e altri litotipi, con particolare attenzione ai casi in cui le peliti/marne siano prevalenti;* e) *nel caso di rocce granulari, definizione del grado di cementazione e, per breccie e conglomerati, rapporto clasti-matrice;* f) *grado di alterazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso, con particolare riguardo alle rocce di faglia e fasce cataclastiche*

Substrato sismico (SS)

È individuabile negli ammassi rocciosi o terreni molto rigidi, caratterizzati da una velocità delle onde di taglio $V_s \geq 800$ m/s. Il substrato si intende affiorante quando direttamente esposto in superficie o ricoperto da uno strato superficiale di alterazione (alterazione meteorica, pedologica fisica e chimica) o copertura di spessore inferiore ai 3 m. Un Substrato Sismico affiorante, in condizioni topografiche sub-pianeggianti può essere assimilato alla categoria di terreno di tipo A delle NTC, definito convenzionalmente dalle seguenti condizioni: i) *valori di V_{s30} (velocità equivalente delle onde S nei primi 30 metri di sottosuolo) ≥ 800 m/s,* ii) *essere caratterizzato da una superficie topografica orizzontale.*

Nel caso in cui non affiori, il Substrato Sismico è costituito da unità geologiche caratterizzate da una velocità delle onde di taglio $V_s \geq 800$ m/s, poste alla base di terreni meno rigidi o di sedimenti sciolti (Substrato Geologico “lento” o Terreni di Copertura).

Quando in corrispondenza di un affioramento di materiali rigidi che soddisfano i requisiti suddetti e dove non sono rilevati effetti locali di amplificazione o modificazioni in frequenza del moto sismico rispetto a quello misurato o stimato in profondità, si parla di *Substrato di Riferimento*; si presuppone quindi che al di sotto di questo tipo di affioramento non esistano forti contrasti di impedenza sismica e che i materiali che lo compongono siano rigidi ed abbiano un comportamento meccanico di tipo lineare (mezzo continuo con comportamento visco-elastico).

Terreni di Copertura (TC)

Comprendono gli orizzonti superficiali costituiti da rocce sciolte, a diverso grado di addensamento, in genere a bassa rigidità (in letteratura trattati spesso anche con il termine generico di “coperture”) di età prevalentemente quaternaria, la cui evoluzione è legata ai diversi stadi di evoluzione e modellamento del paesaggio. I terreni di copertura possono essere associati a processi ad opera dei differenti agenti morfogenetici (acque correnti superficiali, gravità, carsismo, degradazione meteorica, ecc.). Questi depositi generalmente poggiano in netta discordanza sui terreni appartenenti al Substrato geologico e sono caratterizzati da frequenti variazioni, verticali e laterali, di spessore, litologia e composizione, in funzione della presenza di morfologie sepolte o della locale storia morfoevolutiva.

Le Unità e/o le Formazioni classificate come TC dovranno essere caratterizzate ed analizzate in funzione della loro tipologia, del contesto deposizionale, dell'assetto stratigrafico, dello spessore etc. A tale proposito bisogna ricordare che, per i terreni di copertura, non è prevista una categoria di alternanza di litotipi e pertanto nelle successioni verticali vanno evidenziati e differenziati dagli altri

solo gli orizzonti litologici omogenei che raggiungano uno spessore di almeno 3 m. In caso contrario, in presenza di una alternanza di livelli omogenei con spessori inferiori o se esistono intercalazioni di spessore inferiore ai 3 m all'interno di una sequenza omogenea, si classifica la formazione designandola sulla base della litologia prevalente. Variazioni laterali dei rapporti reciproci tra litologie in alternanza potrebbero quindi produrre una variazione di designazione all'interno del medesimo corpo sedimentario o orizzonte litostratigrafico.

A tal proposito ci si deve assicurare che gli studi di MS1 forniscano un'adeguata caratterizzazione delle coperture tale da evidenziare l'eventuale (possibile) presenza al loro interno di strati con significativi contrasti di impedenza sismica (che possono dar luogo a fenomeni di amplificazione in corrispondenza di determinate frequenze) che nelle ulteriori fasi di indagine previste nello studio di MS di livello 3, potranno essere individuati e caratterizzati con maggiore precisione. In caso contrario è necessaria una integrazione preventiva all'esecuzione degli studi di MS3. Nel corso del rilevamento dei Terreni di Copertura, massima cura dovrà essere posta nella ricostruzione della superficie di interfaccia con il Substrato, evidenziando eventuali irregolarità dovute a paleotopografie sepolte nelle quali possono svilupparsi effetti amplificativi, dovuti sia alle forti variazioni laterali che alla geometria irregolare dell'interfaccia SG/TC (o SS/TC), da riprodurre con modelli 2D.

La caratterizzazione dei Terreni di Copertura deve necessariamente essere condotta attraverso la raccolta di dati riguardanti la natura e la disposizione dei litotipi presenti, con l'individuazione di:

- a) tipo di terreno, granulometria, età assoluta o relativa e, dove è possibile, correlazione con formazioni o altre unità cronostatigrafiche già descritte in letteratura;
- b) distribuzione, variazioni di spessore, grado di sviluppo dei suoli;
- c) caratteristiche fisiche: colore, granulometria, tipo di stratificazione, competenza cementazione, variabilità latero-verticale;
- d) presenza di terreni granulari suscettibili alla liquefazione;
- e) presenza di terreni instabili: litologia, acclività dei versanti, attività dei fenomeni di instabilità (fenomeno attivo, quiescente, inattivo);
- f) caratteristiche fisiche e/o chimiche peculiari (es. variazioni di volume delle argille).

In estrema sintesi, i dati riportati nella CGT_MS sono necessari alla definizione di un modello di sottosuolo funzionale, in una prima fase, alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) (Figura 1.1) e alla ricostruzione della stratigrafia di ognuna delle MOPS in termini di successioni di orizzonti geologico-tecnici previsti dagli standard.

In seguito, lo stesso modello, opportunamente aggiornato e caratterizzato in termini di sismostrati, sarà utilizzato per l'esecuzione delle analisi richieste per la stesura delle Carte di MS di livello 2 e 3 (Figura 1.3).

La difficoltà che presenta la realizzazione della CGT_MS risiede, quindi, nella esigenza di rappresentare non solo la distribuzione delle unità affioranti in superficie, ma di fornire anche informazioni relative alla loro disposizione reciproca e alle loro caratteristiche al di sotto della superficie, consentendo la ricostruzione di un modello integrato del sottosuolo. Per questo motivo è fondamentale corredare la CGT_MS con una serie di sezioni geologico-tecniche rappresentative e significative (Figura 1.1 e 1.3), nelle quali trovino riscontro le stratigrafie proposte per ciascuna MOPS. Ai fini della ricostruzione delle geometrie 3D del sottosuolo, la CGT_MS stessa deve necessariamente essere letta alla luce delle sezioni geologico-tecniche.

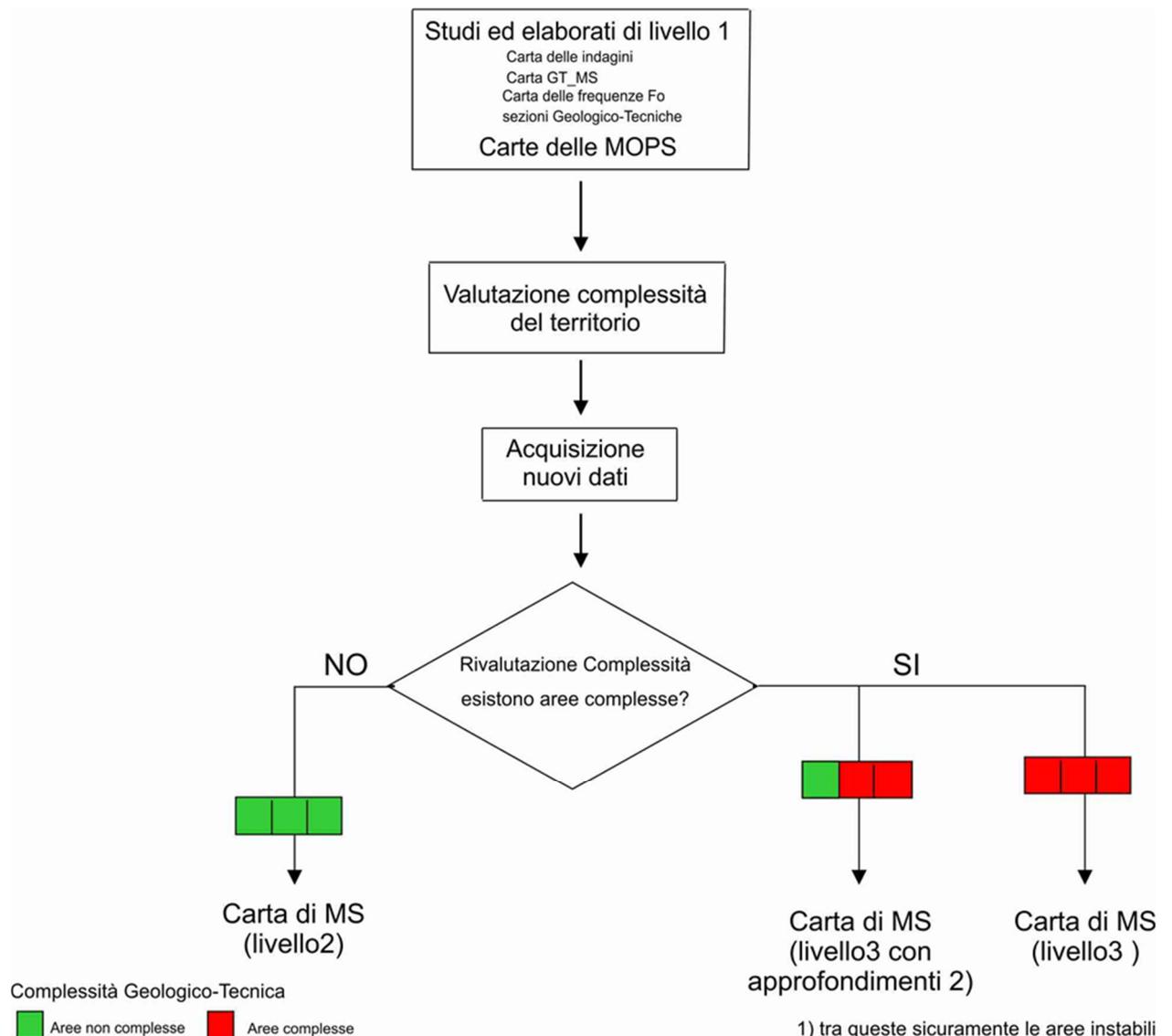


Fig. 1.3 Percorso metodologico per l'elaborazione delle carte di MS e utilizzo della CGT_MS e delle sezioni Geologico-tecniche.

1.3 RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA DEI DIVERSI ELEMENTI GEOLOGICO-TECNICI

Nella CGT_MS è necessario classificare le unità affioranti in un determinato territorio suddividendole in unità geologico-tecniche (da attribuire ai “terreni di copertura” o al “substrato geologico”) seguendo le linee guida indicate negli standard di rappresentazione v4.2beta (CMTS, 2020b). Inoltre, anche per tutti gli elementi stratigrafici, strutturali, morfologici ed idrogeologici andranno utilizzati i simboli e le sigle indicati negli stessi standards.

1.3.1 Terreni di Copertura e ambiente genetico compositazionale

Per i terreni di copertura sono previsti codici derivanti dal Sistema di classificazione dei suoli (Unified Soil Classification System mod., ASTM D2487, 2000), con i quali sono esclusivamente

classificabili diversi tipi di formazioni superficiali clastiche non consolidate, sulla base dei loro caratteri granulometrici (vedi CMTS, 2020b). Ulteriori informazioni sulle geometrie bidimensionali dei corpi litologici sono desumibili dall'attribuzione dei terreni di copertura a determinati ambienti genetico-deposizionali (Figura 6). Una tipologia di terreno di copertura è interamente identificata con un codice a quattro lettere. Le prime due, maiuscole, si riferiscono ai caratteri granulometrici, mentre le altre due, in minuscolo, designano l'ambiente genetico-deposizionale. Per la distinzione delle unità geologico-tecniche dei terreni di copertura è necessario che per ciascun orizzonte rilevato in affioramento e/o attraversato da dati di sottosuolo, siano disponibili le informazioni utili a definire i due parametri di classificazione (es. granulometria, analisi di facies e geomorfologiche). La designazione degli orizzonti non consolidati si riferisce alla granulometria dominante di miscele di materiale clastico di diverse dimensioni.

1.3.2 Terreni del substrato e ambiente genetico compositivo

Anche per la classificazione delle unità del substrato è necessario quanto codificato negli Standard di rappresentazione v4.2beta (CTMS, 2020b). Per quanto riguarda le sigle per indicare i diversi tipi litologici del substrato, si usano due lettere maiuscole, una terza lettera maiuscola rappresentata da S indica che l'unità è stratificata; per indicare un'unità del substrato affetta da alterazione/fratturazione si fanno precedere le due lettere maiuscole che indicano la litologia dal prefisso SF.

Al substrato geologico andranno assegnate tutte le unità geologico-tecniche costituite da rocce compatte, di natura lapidea (codice "LP") o granulare cementata (codice "GR") o coesiva sovraconsolidata (codice "CO"), o orizzonti caratterizzati da alternanze di litotipi in strati sottili non rappresentabili separatamente in carta (codice "AL"). Nell'ambito del substrato è stata introdotta una nuova tipologia di substrato geologico definito "Incoerente o poco consolidato" a cui è associato il codice "IS", con lo scopo di poter classificare all'interno delle unità del substrato quei terreni incoerenti o poco consolidati (ad esempio sabbie incoerenti, semicoerenti e argille poco consolidate plio-pleistoceniche, vulcanoclastiti incoerenti o semicoerenti) che per la loro posizione stratigrafica fanno parte del substrato geologico.

1.3.3 Elementi tettonico-strutturali

I simboli presenti negli standard di rappresentazione v4.2beta permettono di rappresentare le faglie presenti nelle aree da microzonare sulla base dello stato di attività, della cinematica e del grado di incertezza (Figura 1.1.2-3 in CMTS, 2020b). Gli elementi di descrizione delle pieghe si limitano invece ai soli aspetti geometrici, espressi in termini di tracce assiali e di giaciture degli strati, senza alcun riferimento allo stato di attività e di incertezza.

1.3.4 Elementi geologici ed idrogeologici

In questa categoria rientra la simbologia per rappresentare e classificare i sondaggi geognostici e i pozzi tramite tematismi puntuali, definendo la profondità in m dal piano campagna del tetto del substrato geologico se raggiunto, o la massima profondità in m dal piano campagna raggiunta della perforazione nel caso essa rimanga all'interno dei terreni di copertura. Altro tematismo puntuale, utilizzato solo per indicare la presenza di una falda idrica in sabbie e/o ghiaie e la profondità in m dal piano campagna della relativa superficie piezometrica, viene associato e sovrapposto graficamente a uno dei precedenti. In questa categoria di elementi rientra anche il tematismo lineare relativo alle tracce delle sezioni geologico-tecniche con le quali indicare nella

CGT_MS le tracce ritenute significative e rappresentative del modello geologico di sottosuolo, ciascuna etichettata alle due estremità con una lettera o un numero identificativo della sezione e del verso in cui essa è stata elaborata. Per una trattazione di maggiore dettaglio e per la visualizzazione della simbologia vedasi Figura 1.1.2-4 in CMTS, 2020b.

1.3.5 Instabilità di versante

Nella CGT_MS è necessario indicare i movimenti franosi come instabilità di versante designata sulla base della tipologia di frana, sul materiale coinvolto e sullo stato di attività (Figura 1.1.2-5 in CMTS, 2020b). Nel campo carta vanno delimitate con il medesimo tematismo le aree di distacco e di accumulo, rappresentate con il fondo trasparente che si sovrappone al tematismo delle unità geologico-tecniche. Ai fini degli studi di MS è importante che le informazioni della CGT_MS siano integrate da elementi utili per definire la geometria e profondità della superficie di rottura da rappresentare nelle sezioni geologico-tecniche.

1.3.6 Forme di superficie e forme sepolte

Nella CGT_MS è possibile inserire tematismi areali, lineari e puntuali relativi ad alcune forme di superficie e sepolte. Nella trasposizione dalla CG di base alla CGT_MS è possibile trasferire con l'utilizzo di appositi tematismi, le sole forme di conoide alluvionale e falda detritica associabili ai terreni di copertura. Ulteriori specificazioni sulle geometrie dei terreni di copertura (es. terrazzi fluviali, piane alluvionali, ecc.) possono essere evidenziate utilizzando le sigle relative all'ambiente genetico deposizionale. Un tematismo areale evidenzia le aree con cavità sepolte. Questo tematismo va utilizzato sia in aree soggette a fenomeni carsici che per indicare la presenza di cavità di natura antropica. È inoltre possibile fare riferimento a un tematismo puntuale per indicare la presenza di cavità isolate. Per una rappresentazione completa di questa tipologia di simboli vedasi Figura 1.1.2-6 in CMTS, 2020b.

Morfologie superficiali che possono influenzare la risposta sismica sono rappresentabili con una serie di tematismi lineari e puntuali relativi (es. orlo di terrazzo, di scarpata e cresta) facilmente identificabili anche su basi topografiche, analisi di modelli digitali di elevazione del terreno e analisi di foto aeree. Per l'identificazione di morfologie sepolte altri elementi lineari (es. scarpata sepolta, asse di paleovalle sepolta, asse di paleoalveo, limite di versante sepolto) consentono la ricostruzione di paleotopografie nascoste da unità geologico-tecniche più recenti. Ad esempio, l'uso combinato del simbolo di asse di valle sepolta, stretta o larga, insieme al simbolo della scarpata sepolta (Figura 1.1.2-6 in CMTS, 2020b), consente di ricostruire con esattezza la proiezione in pianta di paleovalli, utile per la stesura delle sezioni geologico-tecniche e per la definizione del modello geologico di sottosuolo. L'utilizzo della forma di superficie può guidare il lettore della CGT_MS a identificare le zone di massimo e minimo spessore rispettivamente poste nella parte centrale e nei bordi della forma. L'introduzione del tematismo "Superficie di spianamento o di abrasione marina sepolta", consente di visualizzare in pianta la presenza in sottosuolo di una superficie di discontinuità sub-pianeggiante. La forma può essere abbinata al tematismo lineare della "Scarpata sepolta", quale rappresentativa del bordo interno della superficie sub-pianeggiante.

Il tematismo potrebbe essere esteso anche a contesti geologici differenti per identificare in generale terreni di copertura di superfici terrazzate sub-pianeggianti. Il ricorso a questo tematismo è particolarmente utile nella ricostruzione delle geometrie 2D di sottosuolo nelle sezioni geologico-tecniche. Il tematismo areale "Depositi incoerenti sepolti" permette di identificare la presenza di orizzonti clastici sepolti (depositi alluvionali, marini terrazzati, epiclastici, ecc.) che possono dar

luogo a inversioni di velocità con la profondità. Infine, anche se non si tratta di una vera e propria forma di superficie, viene introdotto, sempre all'interno di tale tipologia, un tematismo areale per delimitare i "Campi di fratturazione cosismica documentati", particolarmente diffusi in aree vulcaniche, dove i fenomeni cosismici di fratturazione superficiale anche non connessi a un piano di faglia principale, possono verificarsi per effetto di terremoti di magnitudo medio-bassa ($3.5 < M_w < 5$), caratterizzati da basse profondità ipocentrali ($< 5\text{km}$).

1.3.7 Sigle unità litologico-tecniche

Nel passaggio dalla carta geologica alla carta geologico-tecnica, le informazioni cronostratigrafiche associate alla distinzione delle unità litostratigrafiche potrebbero andare in gran parte perdute, in quanto differenti livelli litostratigrafici datati potrebbero ricadere nell'ambito della medesima unità geologico tecnica o litofacies differenti, all'interno della medesima unità formazionale, potrebbero costituire unità geologico tecniche distinte (Figura 2 e 12). Per non perdere queste informazioni potrebbe essere utile abbinare ai codici relativi alla designazione delle unità geologico-tecniche attribuite al substrato geologico, una sigla identificativa dell'unità litostratigrafica di provenienza. Nel caso degli studi di MS condotti nei comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici del 2016, le unità geologico-tecniche attribuite al substrato sono state contrassegnate da sigle identificative delle unità litostratigrafiche utilizzate dalla cartografia geologica ufficiale, nell'ambito del Progetto CARG (ad esempio FCOe-ALS, per indicare un'alternanza di litotipi stratificata ALS, associata alla Formazione a Colombacci - litofacies pelitico-arenacea con rapporto sabbie/argille < 1 FCOe, o FAA-COS per indicare la lithofacies argillosa con intercalazioni sabbiose COS della Formazione delle Argille azzurre FAA).

1.3.8 Le sezioni geologico tecniche

Tra gli obiettivi di una CGT_MS vi è l'esigenza di rappresentare non solo la distribuzione delle unità affioranti in superficie, ma di fornire anche informazioni dettagliate relative alla loro disposizione reciproca e alle loro caratteristiche e geometrie al di sotto della superficie topografica, consentendo la ricostruzione di un modello integrato del sottosuolo. Per questo motivo è fondamentale corredare la CGT_MS con una serie di sezioni geologico tecniche. Esse costituiscono lo strumento per visualizzare il modello geologico di sottosuolo di riferimento in tutte le fasi degli studi di MS finalizzate alla determinazione della risposta sismica locale.

Poiché la carta geologico tecnica di riferimento è finalizzata alla MS, le sezioni ad essa associate devono essere orientate in modo da evidenziare tutti gli elementi affioranti e sepolti che possono indurre effetti locali di amplificazione. Di volta in volta l'operatore deve valutare, quali siano gli elementi che maggiormente condizionano la risposta sismica locale orientando le sezioni in modo tale che siano predisposte secondo una griglia di profili geologici disposti sia perpendicolarmente che parallelamente alla direzione di massimo sviluppo degli elementi che possono indurre amplificazione, quali ad esempio valli, dorsali/creste e scarpate sepolte, faglie attive oppure zone con intensa fratturazione, frane. In ogni caso le sezioni geologiche dovranno attraversare le aree di maggiore interesse per le attività di MS.

Si sottolinea che la scelta di sezioni geologico-tecniche rappresentative e ben orientate condiziona non solo la MS di livello 1, ma anche le MS di livello successivo, poiché tali sezioni dovranno essere adeguate alla modellazione numerica per la restituzione dei fattori di amplificazione.

I criteri per l'ubicazione e per l'estensione delle tracce delle sezioni possono essere così riassunti:

- 1) Le sezioni dovranno attraversare i centri urbani per una porzione rappresentativa dell'abitato, nel caso di centri abitati con distribuzione fortemente asimmetrica o di dimensioni notevoli potranno essere ubicate più sezioni rappresentative di dimensioni adeguate a rappresentare l'effettiva variabilità dell'assetto di sottosuolo
- 2) Dimensioni longitudinali delle sezioni scelte per l'analisi bidimensionali (2D) dovranno essere tali da minimizzare, in corrispondenza della zona del centro abitato, gli effetti delle riflessioni totali delle onde che incidono sulle frontiere laterali della modellazione bidimensionale. Per questo è importante estendere la sezione in modo tale che le frontiere laterali si trovino ad una distanza almeno pari alla dimensione del tratto in corrispondenza del centro abitato attraversato. In pratica, se la sezione attraversa un centro abitato per un tratto di lunghezza X , è opportuno che la sezione abbia una lunghezza pari a $X+X+X=3X$, con l'abitato posto al centro della sezione
- 3) Le sezioni dovranno essere ubicate in modo da caratterizzare la massima eterogeneità in termini di TC e S del Modello Geologico al di sotto del centro abitato, ovvero le sezioni dovranno essere realizzate fino ad una profondità tale da intercettare il Substrato Sismico (se identificabile) o quello Geologico.
- 4) Le sezioni dovranno essere ubicate tenendo conto delle possibili morfologie sepolte o delle morfologie superficiali (ad es. presenza di riempimenti vallivi, contatti bruschi con i versanti, scarpate di terrazzo, scarpate strutturali, scarpate di frana, ecc...). Nel caso di valli sepolte caratterizzate da un rapporto $H/L > 1/4$ (con H profondità e L semi-larghezza della valle) potrebbe essere necessario estendere le sezioni oltre le estremità della valle per minimizzare gli effetti delle riflessioni laterali nella modellazione.
- 5) Nel caso di centri abitati posti su TC che riempiono morfologie sepolte è raccomandabile, dove il contrasto laterale sia significativo e l'eterogeneità 2D e/o 3D attesa sia importante, tracciare le sezioni lateralmente fino ad intercettare il Substrato Sismico (si veda in proposito anche paragrafo 3.4.2 delle Istruzioni Tecniche degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica- ICMS).

In ogni caso in una sezione finalizzata a studi di MS dovranno essere chiaramente rappresentati:

1.3.9 Andamento interfaccia substrato-copertura: è necessario per a) la definizione dello spessore delle coperture e dell'amplificazione del moto sismico nei livelli 2 e 3 di MS; b) definire eventuali articolazione della superficie del substrato per motivi tettonici o erosivo/deposizionali; c) eseguire una prima valutazione sulla rigidità del substrato). Nel caso di substrato profondo (dell'ordine di alcune centinaia di metri), difficilmente rappresentabile nelle sezioni geologico tecniche, l'operatore deve comunque indicarne la profondità, stimata o misurata, nella relazione illustrativa

1.3.10 Discontinuità, geometrie sepolte e di superficie: *Le discontinuità a cui possono essere attribuite effetti di amplificazione locale andranno differenziate in base alla loro natura e genesi e saranno distinte:*



- Discontinuità litostratigrafiche che separano unità litotecniche caratterizzate da forti contrasti di impedenza sismica e che di solito sono associate ad importanti superfici di erosione e possono separare unità litotecniche nell'ambito sia dei terreni di copertura che del substrato geologico.
- Morfologie sepolte che si sviluppano, ad esempio, al contatto tra substrato e terreni di coperture alluvionali recenti o detritiche, oppure tra substrato naturale e coperture di origine antropica. Tali morfologie, che possono localmente corrispondere a discontinuità litostratigrafiche (nel caso, ad esempio, di orli di scarpate o di terrazzi, oppure di bordi di valli sepolte), devono essere rappresentate in sezione in modo tale che il loro andamento corrisponda al loro sviluppo plano-altimetrico sulla CGT_MS.
- Morfologie di superficie. Tali morfologie, quali scarpate, creste, picchi isolati, orli di scarpata, orli di terrazzo, acquisiscono significato rilevante quando hanno caratteristiche tali da poter condizionare la risposta sismica locale. Come per le morfologie sepolte, alle quali possono localmente corrispondere (nel caso, ad esempio, di scarpate morfologiche), la loro geometria e posizione in sezione deve corrispondere al loro sviluppo plano-altimetrico sulla CGT_MS. Criteri di rappresentazione e di eventuale accorpamento con altri litotipi devono essere adeguatamente spiegati nella relazione illustrativa.
- Spessori significativi delle unità geologico tecniche omogenee. Nelle sezioni geologico tecniche devono essere rappresentate tutte le unità omogenee che abbiano spessori significativi $\geq 3\text{m}$, ai fini della valutazione dei parametri di amplificazione del moto sismico. I litotipi con spessori inferiori non interagiscono significativamente con le lunghezze d'onda associate alle frequenze di interesse ingegneristico.
- Elementi tettonici e strutturali rilevanti: le uniche faglie ritenute significative ai fini della MS sono quelle "attive e capaci"; quelle "non attive e capaci" possono acquisire un significato rilevante ai fini della MS e quindi vanno chiaramente illustrate, quando interessano un substrato rigido e sono associate ad un'intensa fratturazione; in questo caso i forti contrasti laterali di impedenza possono indurre fenomeni di amplificazione del moto sismico. In questo caso in sezione dovrà essere rappresentata la porzione di substrato interessato dalla fratturazione e il suo andamento in profondità.
- Andamento della superficie piezometrica: l'andamento della superficie piezometrica deve essere rappresentato nella sezione geologico tecnica. Tale andamento acquisisce un'importanza rilevante per definire la suscettibilità alla liquefazione, nel caso siano presenti depositi sabbiosi incoerenti ad una profondità minore di 20 metri dal p.c. e una falda con una profondità media stagionale inferiore a 15 metri dal p.c.
- Zone interessate da instabilità Le zone interessate da instabilità (frane, faglie attive e capaci, liquefazione, cedimenti) devono essere rappresentate nelle sezioni geologico tecniche. Tutte le informazioni geognostiche disponibili devono essere integrate con quelle di superficie, per definire l'estensione in profondità di tali zone.

1.4 CRITERI PER LA REALIZZAZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO INTEGRATO DI SOTTOSUOLO

La CGT_MS integrata con le sezioni Geologico-tecniche e con i dati della Carta delle frequenze deve portare alla realizzazione di un modello geologico integrato di sottosuolo; quest'ultimo è una rappresentazione, approssimata e schematica, di una porzione di sottosuolo, dei rapporti geometrici tra le unità geologico tecniche e delle caratteristiche fisico-meccaniche delle unità e degli elementi tettonico-strutturali. Il termine integrato sta ad indicare che il modello è il risultato di un processo interattivo e iterativo di trattamento di dati provenienti da diverse fonti informative (geologia, geomorfologia, idrogeologia, geofisica e geotecnica). Nell'ottica degli aggiornamenti della CGT_MS nei livelli di approfondimento successivi, sarebbe molto utile, anche se non previsto dagli ICMS08, allegare agli studi di primo livello la CG di base dalla quale è stata ricavata la CGT_MS.

Il ricorso alla raccolta di misure di rumore ambientale già nel primo livello può costituire un metodo speditivo di indagine a supporto dei dati geologici, utili per una verifica delle stratigrafie desumibili dalla CGT_MS. Il dato geologico deve comunque rimanere un elemento indipendente e di confronto con il dato geofisico. In tal senso la CGT_MS e ancor più le sezioni geologico-tecniche devono assolutamente privilegiare le rappresentazioni (es. spessori o geometrie sepolte) derivanti dai dati di terreno e da indagini dirette (es. sondaggi geognostici), piuttosto che ricavate dall'estrapolazione di interpretazioni di dati geofisici (es. rumore ambientale) senza gli opportuni vincoli sulle diverse variabili (es. stratigrafia, profilo Vs).

In particolare, il processo di costruzione del modello di sottosuolo, attraverso l'integrazione delle diverse informazioni, dovrà definire:

- le geometrie e i limiti latero-verticali delle unità geologico tecniche; in particolare, è importante stabilire il rapporto geometrico tra terreni di copertura e substrato, definendo l'andamento morfologico del tetto del substrato sepolto;
- l'assetto strutturale (descrizione quantitativa della distribuzione spaziale delle discontinuità) degli ammassi rocciosi ed eventualmente delle formazioni argillose fortemente sovraconsolidate;
- le proprietà fisiche e meccaniche a cui possono essere associate leggi di variazione spaziale e valutazioni di incertezza;
- la posizione delle falde acquifere e le loro eventuali oscillazioni stagionali, con definizione delle condizioni idrodinamiche e di pressione interstiziale.

È importante qui ricordare che i corpi geologici di copertura caratterizzati da litologie omogenee possono assumere forme complesse. In questo senso, il limite latero-verticale dell'unità geologico-tecnica è da intendersi come un "contenitore" che conferisce la forma al corpo geologico e che può indurre, a causa della sua geometria, effetti di amplificazione del moto sismico. Il riconoscimento, la mappatura e la ricostruzione in sezione di tali limiti costituisce pertanto un elemento importante per la definizione del modello di sottosuolo e, quindi, degli effetti locali.

In definitiva, per la MS, il modello integrato del sottosuolo deve consentire di identificare le geometrie e i rapporti di corpi geologici omogenei, ovvero caratterizzati da valori simili dei parametri che ne descrivono il comportamento in condizioni dinamiche.

È importante, infine, sottolineare come le scale di risoluzione spaziale delle informazioni e dei parametri del modello, derivanti da diverse fonti informative, possano essere molto variabili. In conseguenza di ciò, il processo iterativo di costruzione del modello integrato del sottosuolo deve tendere a garantire una risoluzione idonea al particolare uso, finalità e livello di approfondimento. Per la MS la scala di rappresentazione delle sezioni geologico-tecniche non può essere inferiore a 1:5.000.

La definizione del modello geologico di sottosuolo per gli studi di MS avviene attraverso l'integrazione tra:

- dati geologici e geomorfologici pregressi analizzati e successivamente revisionati con nuovi rilievi di terreno e analisi geomorfologiche originali;
- interpretazione delle indagini dirette ed indirette di sottosuolo pregresse, integrate con nuove indagini di numero adeguato, opportunamente previste secondo un apposito piano di indagini.

La risoluzione del modello geologico deve essere adeguata al livello di approfondimento degli studi di MS:

- per gli studi di MS di livello 1 (MS1), il modello geologico deve essere funzionale alla individuazione di zone a comportamento omogeneo in prospettiva sismica (MOPS);
- nelle fasi di studio successive, livello 2 o 3 (MS2 o MS3), il modello geologico deve contenere tutti gli elementi di ulteriore conoscenza, acquisiti mediante le analisi specifiche condotte (prove geofisiche, prove in foro), e si deve concretizzare in un modello geologico-tecnico 1D o 2D, in funzione delle condizioni di sottosuolo, dove siano riportati i valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) assegnato ai diversi orizzonti stratigrafici, in maniera da essere facilmente convertibile in un modello geotecnico da utilizzare per le modellazioni delle amplificazioni di sito

1.5 INQUADRAMENTO DELLA CGT_MS, DELLE SEZIONI GEOLOGICO TECNICHE E DEL MODELLO INTEGRATO DEL SOTTOSUOLO NEL PERCORSO METODOLOGICO DEGLI STUDI DI MS

Nel diagramma di flusso della fig. 1.4 è sintetizzato il percorso metodologico per produrre le carte di MS nei tre livelli previsti da ICMS (2008). Come si può notare, la CGT_MS, la Carta delle Frequenze e le Sezioni Geologico tecniche sono determinanti nella stesura della Carta di MS di livello 1 (MOPS), e tutte insieme sono indispensabili per la valutazione della complessità dell'area e per la previsione del livello di studio successivo (MS2, MS3) necessario per il completamento degli studi di MS (Fig. 1.5)

Un'area è definibile come "geologicamente complessa" quando, in superficie e nel sottosuolo, sono presenti elementi, descrivibili con assetti 2D, che possono indurre amplificazione del moto e deformazioni permanenti durante un evento sismico. Il grado di complessità di un'area dipende dalla sovrapposizione, ossia dalla compresenza, di elementi predisponenti all'amplificazione o al dissesto. In particolare, si possono schematizzare le seguenti situazioni geologico-tecniche tipo che determinano la scelta del percorso metodologico per l'elaborazione della carta di MS (Figura 1.3):

- Sulla base dei risultati dello studio di MS di livello 1, il territorio non presenta aree complesse per cui viene effettuata una acquisizione di nuovi dati per la realizzazione di un livello 2. I dati acquisiti confermano l'assenza di aree geologicamente complesse, anche piccole, per cui è sufficiente l'esecuzione di un livello 2;
- Sulla base dei risultati dello studio di MS di livello 1, il territorio non presenta aree complesse per cui viene effettuata una acquisizione di nuovi dati per la realizzazione di un livello 2. I dati acquisiti indicano però la presenza di piccole aree complesse dal punto di vista geologico-tecnico, per cui è sufficiente effettuare uno studio di livello 2 nella maggior parte del territorio (non complesso), ma è necessario un approfondimento di livello 3 nelle aree complesse individuate;

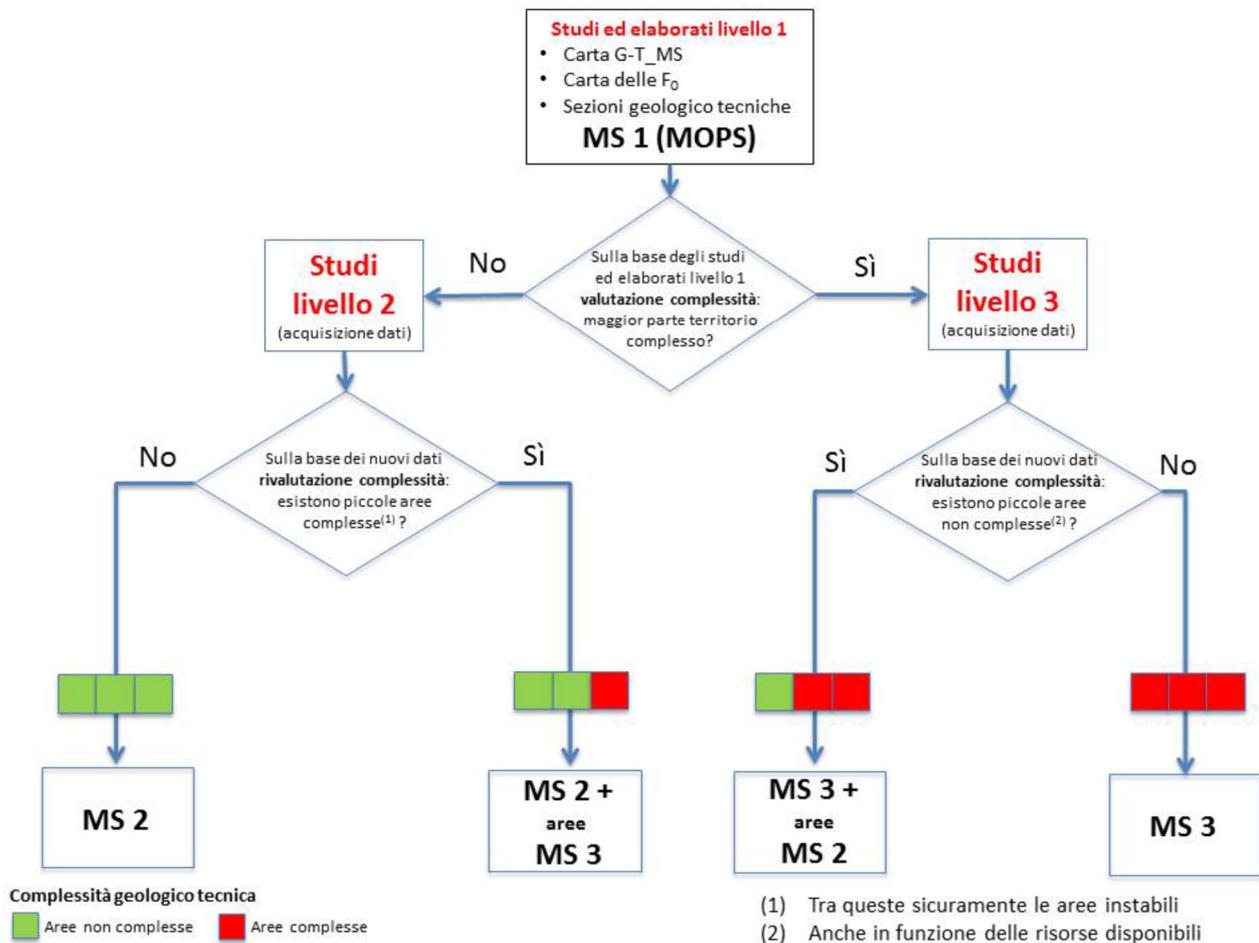


Fig. 1.4 - Diagramma di flusso per la definizione del grado di approfondimento degli studi di microzonazione.

- Sulla base dei risultati dello studio di MS di livello 1, il territorio presenta aree complesse per cui viene effettuata una acquisizione di nuovi dati per la realizzazione di un livello 3. I dati acquisiti indicano la presenza di piccole aree non complesse dal punto di vista geologico-tecnico in corrispondenza delle quali è sufficiente effettuare un approfondimento di livello 2. Approfondimenti di livello 3 sono invece necessari nella maggior parte del territorio, caratterizzato da aree a differente complessità;
- Sulla base dei risultati dello studio di MS di livello 1, il territorio presenta aree complesse per cui viene effettuata una acquisizione di nuovi dati per la realizzazione di un livello 3. I dati acquisiti confermano l'estesa complessità geologico-tecnica per cui è necessario effettuare studi di livello 3 su tutta l'area

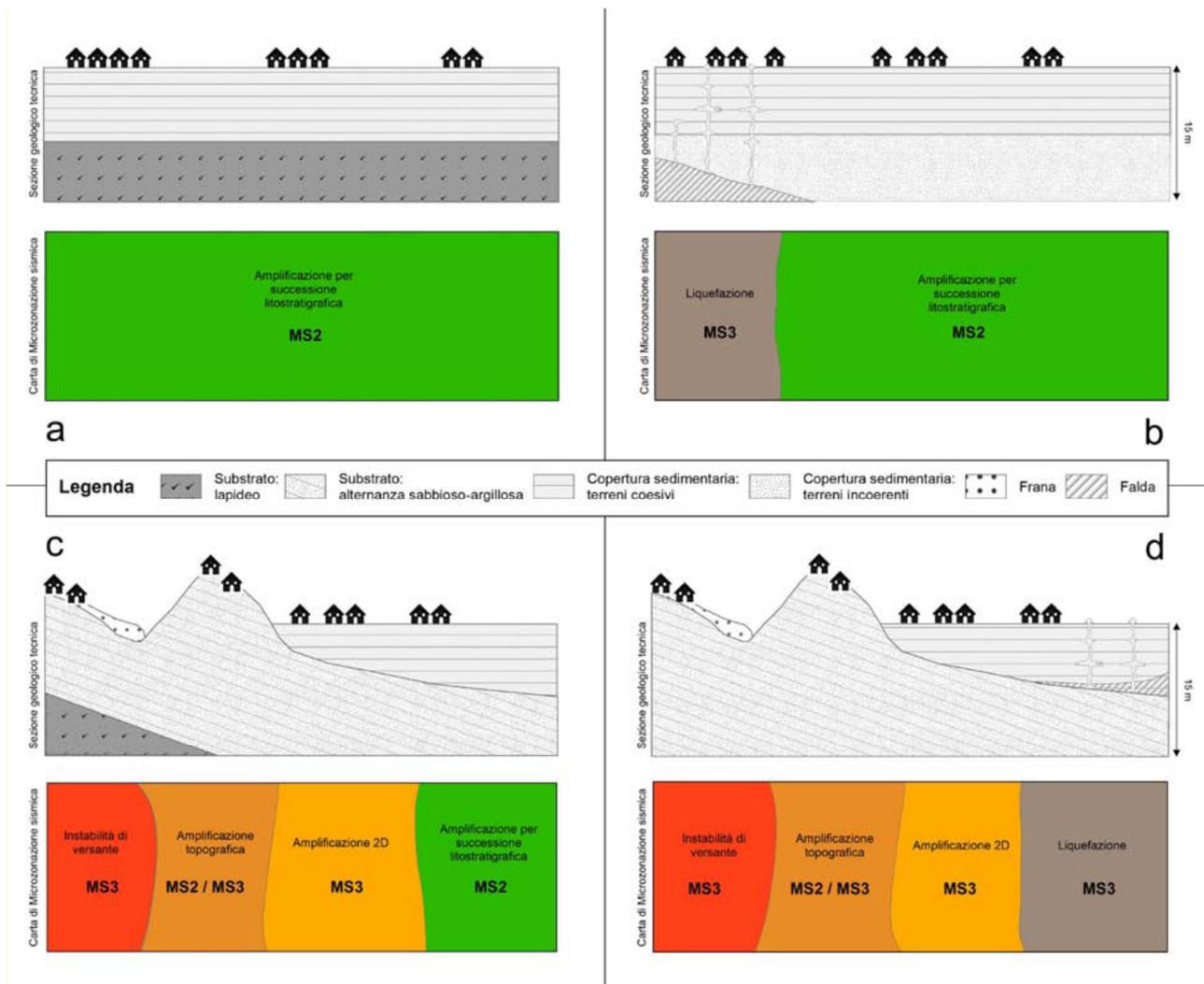


Fig. 1.5 - Situazioni geologico tecniche tipo con relativi livelli di microzonazione sismica.

1.5.1 Dalla Carta CGT_MS e delle Sezioni Geologico-Tecniche alla Carta delle MOPS

La stesura della Carta delle MOPS prevede l'analisi e integrazione dei dati geognostici e geofisici rappresentati nella Carta delle Indagini, con i dati rappresentati nella CGT_MS, elaborati al fine di ricostruire le geometrie di sottosuolo nelle sezioni geologico-tecniche. L'utilizzo congiunto di questi dati, pregressi e di nuova acquisizione, permette di suddividere qualitativamente il territorio in zone a comportamento sismico omogeneo (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, MOPS) classificandole come Zone Stabili, Zone Stabili suscettibili di Amplificazione locale e Zone Suscettibili di Instabilità.

La CGT_MS è un elaborato di base di fondamentale importanza per la redazione della Carta delle MOPS, in quanto rappresenta la distribuzione in superficie delle unità geologico-tecniche omogenee, corredata da informazioni sugli elementi litostratigrafici, tettonico-strutturali, geomorfologici, idrogeologici geotecnici e geofisici (se disponibili), nonché le forme sepolte e di superficie e le aree di instabilità presenti nell'area di studio.

Le informazioni contenute nella CGT_MS, insieme ai dati della Carta delle Indagini, consentono di risolvere alcune delle problematiche che possono presentarsi nella realizzazione della Carta delle MOPS, ricordando comunque che una MOPS si caratterizza non solo sulla base del terreno

affiorante, ma soprattutto per la omogeneità della colonna stratigrafica rappresentativa composta dalla successione verticale di unità geologico-tecniche (Terreni di Copertura e Substrato Geologico).

1.5.2 Particolari situazioni che si possono verificare nella carta delle MOPS.

Aree con differente litologia, ma con caratteristiche litotecniche simili

In primo luogo, a differenza di una comune carta geologica, la CGT_MS, sulla base dei dati raccolti attraverso le indagini geognostiche e geofisiche (Carta delle Indagini), può accorpate aree adiacenti caratterizzate dall'affioramento di unità litostratigrafiche diverse, ma con caratteristiche litotecniche simili. Queste costituiranno una unica MOPS se caratterizzate da una successione verticale di terreni omogenea.

Aree con stessa litologia, differente spessore delle coperture

I dati ottenuti da misure di rumore ambientale e sondaggi geognostici possono fornire informazioni utili per individuare l'andamento del substrato e, quindi, lo spessore dei terreni di copertura. In alcune aree, pur essendo presente il medesimo litotipo, potrebbe essere necessario distinguere diverse microzone in funzione della variazione di spessore delle coperture, che determina un comportamento dinamico differente. Va rilevato che spesso le variazioni di spessore sono graduali (es. fianchi di paleovalli, edifici vulcanici sepolti). In questi casi esiste un problema oggettivo di reale comportamento omogeneo delle MOPS. Solo effettuando una modellazione 2D attraverso la MOPS in uno studio di MS di livello 3 ad esempio sarà possibile definire l'estensione delle aree a risposta sismica locale omogenea.

Substrato con stessa litologia, differente rigidità

Le informazioni contenute nella CGT_MS, integrate con i risultati delle misure di rumore ambientale e i dati geognostici, geotecnici e geofisici (se disponibili), permettono anche di fare le prime valutazioni sulla rigidità del substrato presente. In particolare, nella CGT_MS è possibile distinguere le porzioni di substrato geologico caratterizzate da un alto grado di alterazione e/o fratturazione. Questa distinzione consente di separare le aree con medesima litologia, ma differente comportamento in termini di rigidità al taglio, da riferire, pertanto, a microzone differenti.

Presenza di terreni liquefacibili

Nella CGT_MS la presenza di terreni limosi e sabbiosi associata alle informazioni sulla profondità di un'eventuale falda in essi contenuta, permette di individuare le Zone Suscettibili di Liquefazione, che andranno segnalate nella Carta delle MOPS e per le quali dovrà essere valutata la possibilità che si inneschi un tale fenomeno seguendo le indicazioni riportate nel documento "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ)" (CTMS, 2018)

Presenza di faglie attive e capaci

Eventuali faglie classificate come attive e capaci nella CGT_MS, devono essere rappresentate e trattate come Zone di Instabilità nella carta delle MOPS, secondo quanto indicato nel documento

“Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)” (CTMS, 2015a). Le faglie di altra natura rappresentate solo nella CGT_MS sono comunque ritenute significative negli studi di MS, quando sono associate a zone con intensa fratturazione (segnalate nella CGT_MS) e/o modificano significativamente la geometria del substrato sepolto.

Aree interessate da fenomeni di instabilità di versante e altri fenomeni di instabilità (crolli di cavità, densificazione sismoindotta)

Tutte le aree interessate da fenomeni franosi attivi o quiescenti all’interno della CGT_MS andranno classificate come Zone Suscettibili di Instabilità nella carta delle MOPS, secondo quanto indicato nel documento “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR)” (CTMS, 2015b). La CGT_MS contiene altresì le informazioni riguardanti la presenza di aree con elevati spessori di terreni sciolti insaturi, così come l’esistenza di cavità sepolte, sinkhole e doline isolate, utili per l’individuazione delle zone suscettibili di instabilità per densificazione sismica, che andranno riportate nella carta delle MOPS, secondo quanto indicato nel documento “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Densificazione indotta dall’azione Sismica”.

1.6 LINEE GUIDA PER LA DESCRIZIONE DELLE AREE INSTABILI

La presente sezione vuole fornire un indirizzo all’applicazione delle Linee Guida alla definizione delle aree soggette a fenomeni di instabilità sismoindotta, annesse agli ICMS (CTMS, 2017).

Il risultato atteso del livello 1 di MS è la delimitazione delle Zone di Attenzione per instabilità di versante (ZAFR) costituite dalle seguenti aree:

- aree in frana (FR)
- aree potenzialmente franose (APF)
- aree di evoluzione del fenomeno franoso (AE).

L’obiettivo di questo livello di approfondimento viene perseguito utilizzando elementi informativi minimi. Alcuni di questi elementi, che attengono alle caratteristiche del sottosuolo, devono essere raccolti dando priorità alle aree già preventivamente segnalate nella Carta Geologico Tecnica (CGT_MS).

Alla sua base vi è l’intenzione di garantire la corretta ed attenta definizione delle Zone di Attenzione (ZA) per i fenomeni di instabilità, da parte degli affidatari incaricati degli studi di MS.

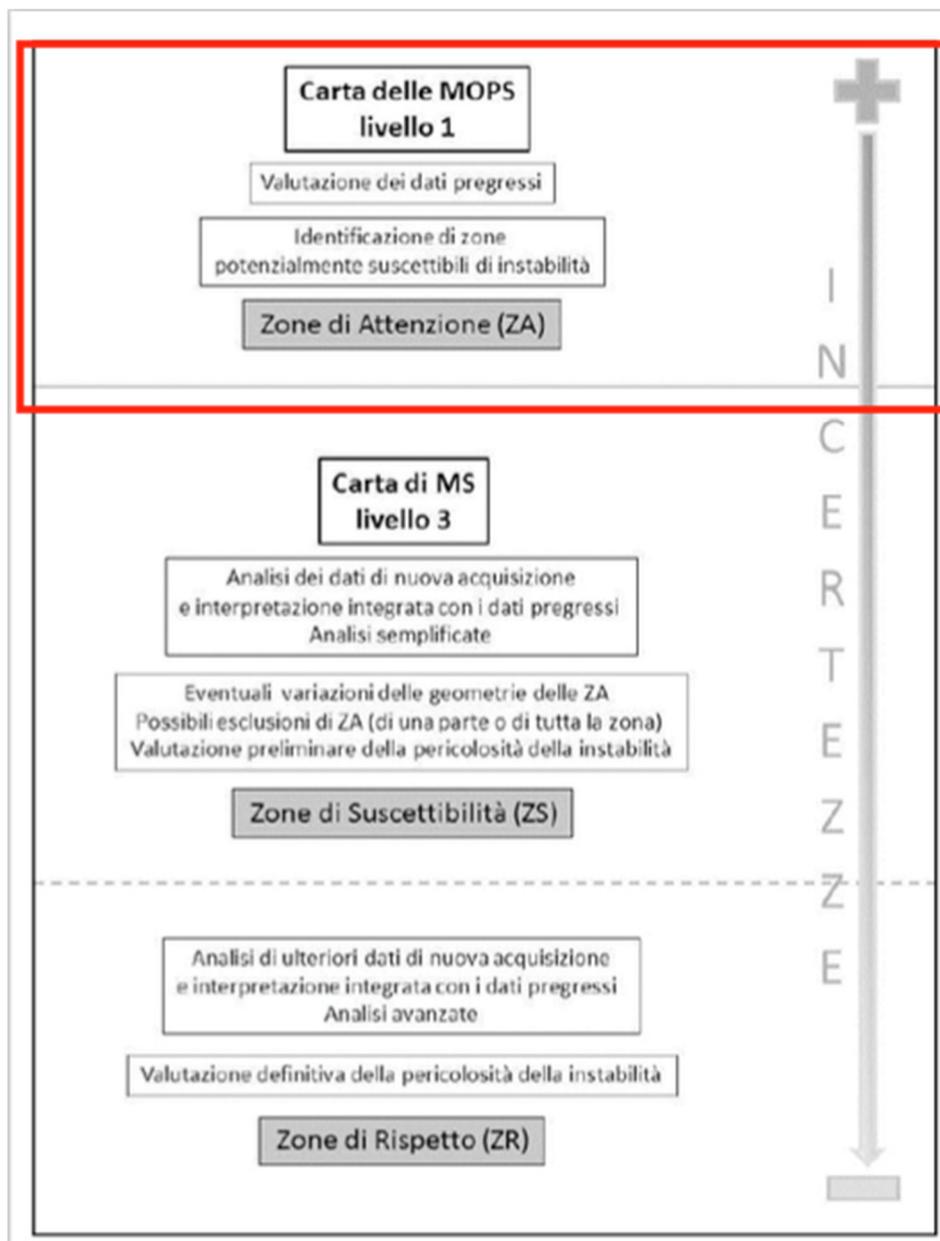


Figura 1.6 - Schema illustrativo del tipo di zona di instabilità nelle carte MOPS e MS. La raccolta dati e le analisi permettono di ridurre le incertezze dal livello 1 al livello 3 (da ICMS - Linee Guida per le zone di instabilità). In rosso il livello 1.

Di seguito, si forniscono con maggior dettaglio indicazioni sulla perimetrazione delle ZA che dovrà essere effettuata dagli affidatari incaricati per le diverse tipologie di instabilità considerate nelle linee guida di ICMS 2008.

1.6.1 Zone di attenzione per le Frane (Z_{AFR})

In accordo con le Linee Guida allegate a ICMS e relative alle instabilità per frana (Figura 1.6), le zone di Attenzione (Z_{AFR}) sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di

condizioni predisponenti l'instabilità in esame ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile stabilire, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, cataloghi e documenti esistenti (tra cui IFFI, PAI, CEDIT – <http://www.ceri.uniroma1.it/index.php/web-gis/cedit>, Fortunato et al., 2012 - e rapporti tecnici predisposti da enti di gestione del territorio quali Autorità di distretto, ISPRA, ecc.), se in occasione di eventi sismici passati, nonché di quelli più recenti, si siano verificati eventuali fenomeni di instabilità.

All'interno delle zone previste per le MS di livello 3, la perimetrazione cartografica delle Z_{FR} dovrà essere condotta secondo la seguente procedura:

- a. *acquisizione integrale delle perimetrazioni PAI + IFFI come dato pregresso;*
- b. *rilevamento geologico, geomorfologico e geomeccanico, e verifica in sito delle perimetrazioni PAI+IFFI;*
- c. *eventuale rettifica (mai in difetto) delle aree PAI+IFFI e conseguente nuova perimetrazione;*
- d. *restituzione di due layer informativi distinti, comprendenti: 1) perimetrazione PAI+IFFI originale; 2) nuova perimetrazione.*

Per ciò che attiene il punto b) si richiede che vengano effettuati rilievi georiferiti in corrispondenza delle seguenti tipologie di contesti effettivamente o potenzialmente instabili: 1) coperture; 2) corpi di frana; 3) ammassi rocciosi fratturati.

Il suddetto rilevamento dovrà essere condotto attraverso l'osservazione di forme tipicamente connesse a zone sorgente e/o zone di accumulo per frane in terra e roccia. I dati relativi al rilevamento dovranno essere riportati nelle schede informative basate su un modello predisposto dal Centro di MS e allegate al presente documento (All.1, All.2, All.3) ai fini della creazione di un *database* che gli affidatari incaricati dovranno popolare a valle delle validazioni che saranno effettuate

Le schede contengono informazioni descrittive e/o semi-quantitative che si ritengono utili a:

- *geolocalizzare i contesti effettivamente o potenzialmente instabili;*
- *fornire indicazioni preliminari in base alle quali indirizzare future indagini geognostiche, prove geotecniche ed attività di monitoraggio finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica, fisico-meccanica e all'analisi dei cinematismi in atto nei contesti instabili;*
- *omogeneizzare il dato rilevato, garantendo una base informativa minima, comune a tutti i contesti territoriali, in chiave geologica e geotecnica su cui innestare futuri studi di livello 3 volti a definire Zone di Suscettibilità (Z_{SFR}) e di Rispetto (Z_{RFR}) per fenomeni di frana.*

Per ciò che attiene il punto c), le operazioni di ripermetrazione dei corpi di frana PAI+IFFI dovrà avvenire solo in eccesso, ovvero solo nel caso in cui il rilevamento evidenzi una lacuna nelle instabilità indicate nei dati pregressi e/o una sottostima della loro estensione. Ciò può essere imputato all'evoluzione stessa dei processi gravitativi in atto (nel caso che i prodotti pregressi siano significativamente datati) o anche a lacune informative esistenti negli stessi. Non si ritiene, invece, ammissibile l'eliminazione di elementi instabili già inventariati nei prodotti ufficiali pregressi che, come tali, pongono un vincolo sovraordinato da parte dei PAI alle carte di MS di livello 3 nell'uso del territorio.

Per ciò che attiene il punto d), la perimetrazione ufficiale PAI+IFFI dovrà essere fornita su un layer informativo distinto da quello in cui si riporterà l'eventuale nuova perimetrazione. Gli affidatari incaricati sono tenuti a segnalare esplicitamente nelle relazioni di accompagnamento le discrepanze riscontrate tra i due layer informativi fornendo, come annesso alle relazioni, una carta che evidenzi le differenze cartografiche rilevate. In definitiva, prescindendo da quanto indicato dalle linee guida, gli affidatari incaricati dovranno riportare nelle carte di MS di livello 3 solo le Z_{FR}.

Livello di MS	Carta	Zone di instabilità di versante	Elementi informativi	Analisi e metodi
1	MOPS	Zone di Attenzione (Z _{A_{FR}})	Minimi Dati pregressi	-
2	MS	Zone di Attenzione (Z _{A_{FR}})	-	<i>Non si effettuano studi sulle instabilità di versante</i>
3	MS	Zone di Suscettibilità (Z _{S_{FR}})	Specifici	Semplificate (<i>sensu</i> AGI, 2005) Metodi pseudostatici per frane in terra Metodi semplificati per definire la suscettibilità e la <i>runout distance</i> per frane di crollo
3	MS	Zone di Rispetto (Z _{R_{FR}})	Specifici	Dinamiche semplificate o avanzate (<i>sensu</i> AGI, 2005). Metodi degli spostamenti e calcolo <i>runout distance</i>

Figura 1.7 – Livelli, carte e corrispondenti tipi di zone di instabilità di versante. In rosso il livello 1

Per ciò che attiene le frane in roccia, secondo quanto previsto dalle linee guida ICMS (Figura 1.8), le Z_{A_{FR}} nella loro perimetrazione dovranno contenere informazioni sulle aree di invasione (*runout distance*) dedotte da evidenze geomorfologiche (distribuzione dei depositi di frana) ed eventualmente supportate da valutazioni quantitative semplificate di natura empirico-statistica.

Metodi	Parametro	ZONE	CARTA	LIVELLO MS
Analisi inventari Metodi empirici	<i>Runout distance</i>	Z _{A_{FR}} (Zona di Attenzione)	MOPS	1
<i>Non si effettuano studi sulle instabilità</i>		Z _{A_{FR}} (Zona di Attenzione)	MS	2
Valutaz. attività RHAP-MS	FR _{att} Soglia	Z _{S_{FR}} (Zona di Suscettibilità)	MS	3
Metodi empirici	<i>Runout distance</i>			
Spostamenti	<i>Runout distance</i> FRR	Z _{R_{FR}} (Zona di Rispetto)	MS	3

Figura 1.8 - Schema riassuntivo per la verifica delle condizioni per l'individuazione delle zone per le frane di crollo. In rosso il livello 1

1.6.2 Zone di attenzione per la Liquefazione (Z_{ALQ})

In mancanza di un prodotto ufficiale di perimetrazione delle Z_{ALQ} , si suggerisce una perimetrazione più conservativa (dunque più ampia) dove ritenuta consistente con i dati geologici e geotecnici disponibili. Tra le condizioni predisponenti la liquefazione è da ritenersi prioritaria la presenza di depositi sciolti limoso-sabbiosi in falda nei primi 20 m di sottosuolo, documentabili in base a relazioni tecniche disponibili e/o sulla base di specifiche indagini. Inoltre, come suggerito dalle stesse linee guida di ICMS, tale perimetrazione potrà essere supportata da evidenze storiche riportate in cataloghi accreditati che dovranno essere citati nelle relazioni tecniche.

In accordo a quanto indicato nelle specifiche linee guida, la zonazione delle instabilità per liquefazione deve essere condotta in modo da:

- evitare che negli studi di MS siano individuate zone suscettibili a liquefazione in assenza di dati/informazioni sufficientemente affidabili per la loro perimetrazione;
- definire procedure standard per individuare le zone di liquefazione in funzione della tipologia, della qualità delle indagini svolte e dei metodi di analisi;
- riportare eventuali incertezze dei dati utilizzati;
- definire il sistema di rappresentazione delle zone di liquefazione.

La Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica deve fornire anche elementi utili ad individuare l'eventuale presenza di condizioni locali predisponenti la liquefazione quali elementi paleogeografici (tra cui paleo alvei, anche sepolti) ed eventuali elementi antropici di interesse (tra cui gli argini fluviali), per la delimitazione delle Z_{ALQ} .

La cartografia geologico-tecnica deve altresì guidare alla individuazione delle aree nelle quali si possa ipotizzare la presenza di terreni non coesivi, saturi, nei primi 20 m di sottosuolo. Tale individuazione dovrà essere accompagnata da una descrizione specifica affinché possano essere condotti negli studi di livello 3 gli approfondimenti necessari a verificare l'effettiva presenza di condizioni predisponenti il fenomeno della liquefazione, arrivando in questo modo alla perimetrazione delle Z_{SLQ} e delle Z_{RLQ} (Figura 1.9).

Per ciò che attiene le modalità di perimetrazione delle Z_{ALQ} , essa si basa su elementi informativi minimi. Pertanto, la perimetrazione di tali zone identificherà i limiti delle aree nelle quali si verificano le seguenti due condizioni codificate da ICMS:

C1. nella successione litologica sono presenti orizzonti di terreni non coesivi saturi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie ghiaiose, sabbie argillose e ghiaie sabbiose) ad una profondità inferiore a 20 m dal p.c.;

C2. la falda acquifera si trova ad una profondità media stagionale inferiore a 15 m dal p.c.

Per quanto riguarda la valutazione della condizione C1, poiché può essere fatta sulla base di dati pregressi, tra i quali non sempre sono presenti indicazioni strettamente granulometriche, si può far riferimento anche alla sola descrizione litologica. Laddove siano disponibili dati granulometrici, la condizione C1 dovrà essere verificata sulla base del confronto con i fusi granulometrici riportati in ICMS. Anche per la condizione C2 si può far riferimento a dati pregressi.

Nel caso non sia verificata anche solo una delle due condizioni suddette, la zona è da considerare non suscettibile di liquefazione.

La procedura di perimetrazione prevede che:

- nell'ambito della elaborazione della Carta delle MOPS e della Carta di MS di livello 3, le Z_{ALQ} siano individuate tra quelle classificate come suscettibili di amplificazione e nelle quali sono verificate le condizioni C1 e C2;

- una Z_{ALQ} possa essere costituita da una o da più zone suscettibili di liquefazione anche confinanti;
- per la Z_{ALQ} dovrà essere specificata anche la successione litostratigrafica nei primi 20 m.

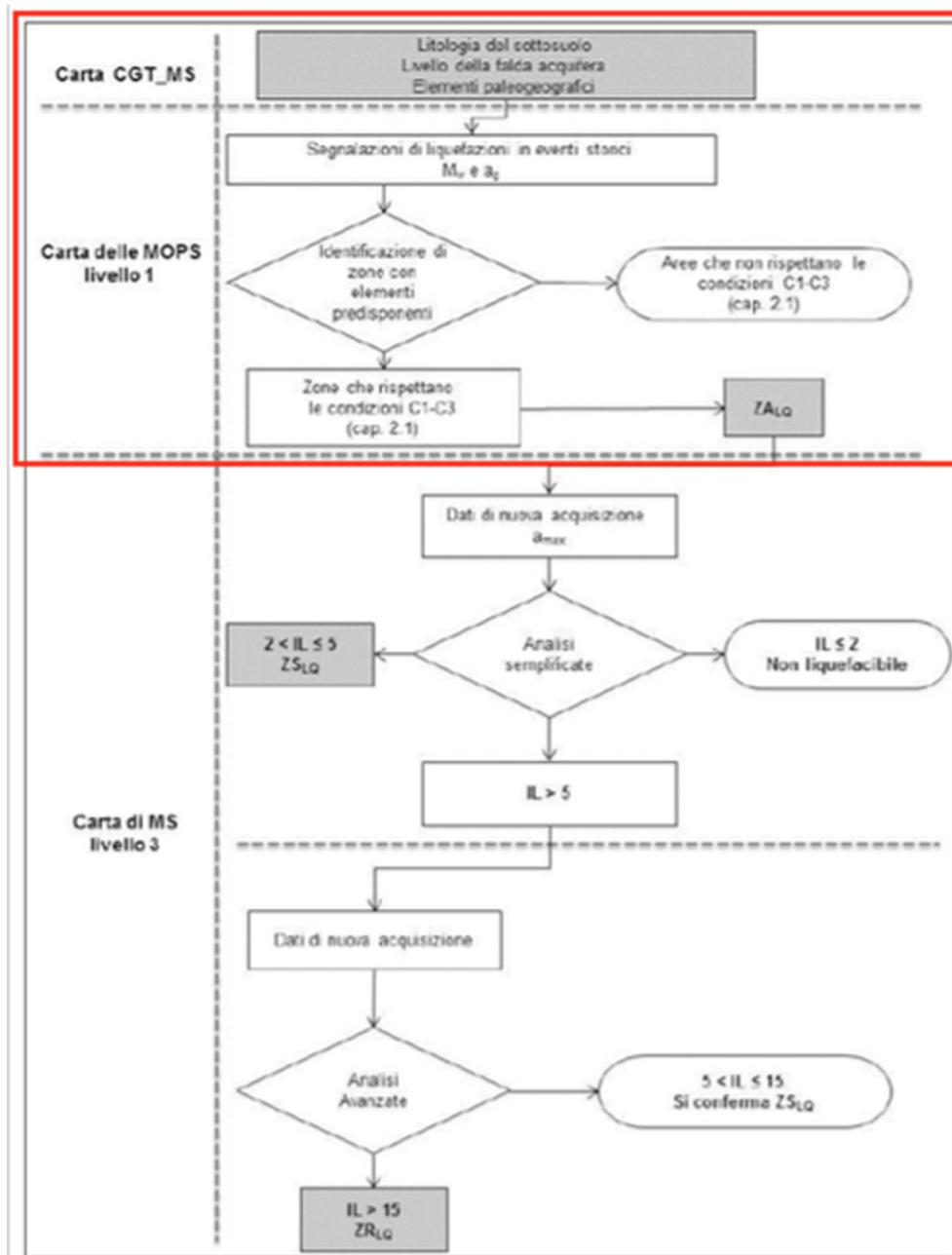


Figura 1.9 – Diagramma di flusso che illustra il percorso metodologico (attraverso i livelli di MS) per la definizione delle zone di liquefazione (cfr. Linee Guida per le Instabilità annesse a ICMS). In rosso il livello 1

1.6.3 Zone di attenzione per le Faglie Attive e Capaci (Z_{FAC})

Ogni Zona di Attenzione per le Faglie Attive e Capaci (Z_{FAC}) sarà riportata nelle MOPS del livello 1 di MS in modo da comprendere la supposta traccia del piano di rottura principale e i probabili fenomeni deformativi del terreno correlati al piano di rottura principale. Questa zona rimanderà obbligatoriamente a livelli di approfondimento specifici, propri del livello 3 previsto da ICMS.

Per individuare una Z_{FAC} devono essere verificate almeno due delle condizioni preliminari di seguito citate ovvero:

- *l'area oggetto di studi di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con $M_w > 5.5$ (cfr. CPTI5, Rovida et al., 2019, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. INGV. <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>;*
- *la letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche (ISPRA, s.d.);*
- *sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS.*

Le Faglie Potenzialmente Attive e Capaci (FPAC), eventualmente individuate con l'ausilio di dati di letteratura o durante i rilievi di terreno, verranno, invece, riportate nella sola Carta Geologico Tecnica per la Microzonazione Sismica mentre non andranno riportate nella carta delle MOPS (livello 1). Nei successivi livelli 3 tali faglie verranno investigate con indagini appropriate al fine di identificarne l'eventuale attività negli ultimi 40.000 anni, oltre che definirne con certezza la geometria.

Nell'ambito degli studi di MS in questione, pertanto, gli affidatari dovranno limitarsi a perimetrare le Z_{FAC} nelle Carte Geologico-Tecniche e nelle MOPS e le eventuali Z_{PFAC} nelle sole Carte Geologico Tecniche. In entrambi i casi le perimetrazioni saranno basate sull'acquisizione di dati pregressi o direttamente rilevati per il presente studio. Nel caso delle FAC questi dati dovranno consentire di verificare almeno 2 delle condizioni preliminari sopra elencate, nel caso delle FPAC l'indicazione geologica sarà mantenuta in via ipotetica nella sola Carta Geologico-Tecnica.

Per come definite da ICMS, le Z_{SFAC} sono atte a delimitare l'area nella quale sono localizzate la traccia del piano di rottura principale della faglia attiva e capace e altre possibili strutture tettoniche secondarie associate al piano di rottura principale, e le zone di trasferimento tra segmenti distinti della faglia. Le Linee Guida, a tale riguardo, precisano che la Z_{SFAC} zona dovrà essere definita per quelle faglie attive e capaci le cui informazioni disponibili, sia pregresse che acquisite appositamente, non permettano di definire con chiarezza la traccia principale della faglia e gli elementi secondari ad essa associati. La Z_{SFAC} può essere tracciata in modo asimmetrico rispetto alla traccia (*footwall* e *hangingwall*) della faglia.

In caso si decida di delimitare le Z_{SFAC} nelle carte di MS, secondo lo schema operativo proposto dalle Linee Guida (Figura 1.10) esse dovranno per prima cosa occuparsi della distinzione delle FAC di tipo *_a* (certe) da quelle di tipo *_b* (incerte) e dimensionare le rispettive Z_{SFAC} nella consapevolezza che solo le FAC di tipo *_a* saranno, in futuro, oggetto di studi paleosismologici di livello 3, che porteranno alla perimetrazione delle Z_{RFAC} .

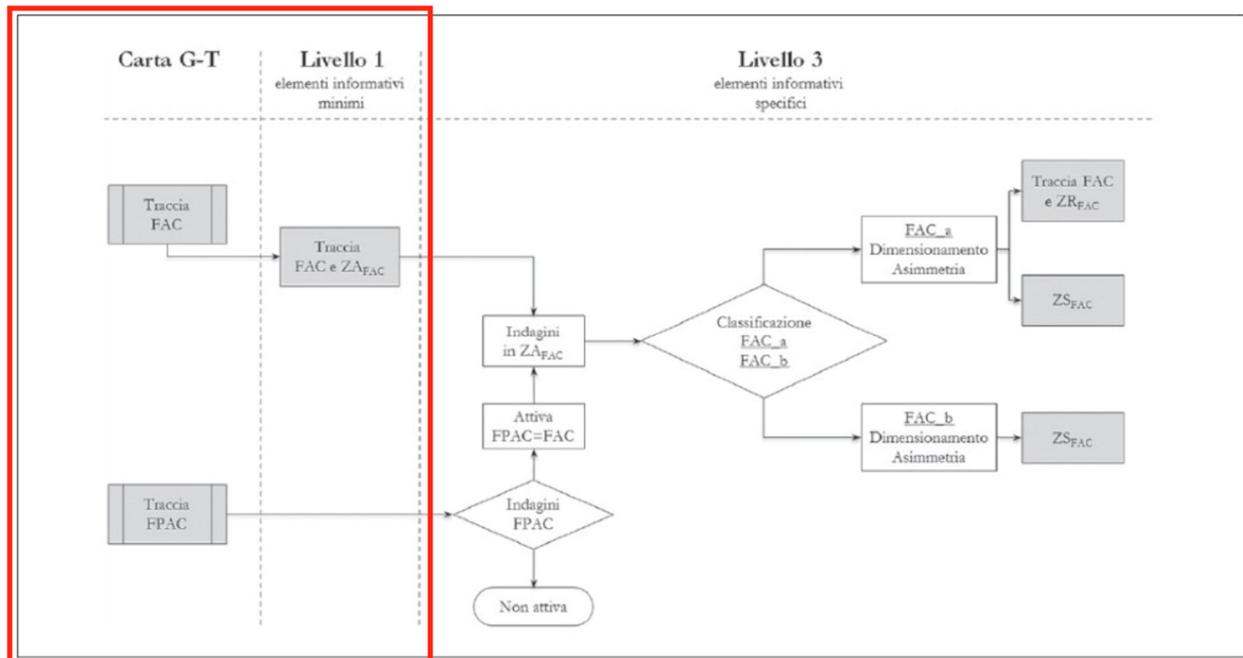


Figura 1.10 - Procedure di dimensionamento delle zone di faglia nei differenti livelli di approfondimento degli studi di MS. In rosso il livello 1

1.6.4 Sintesi Operativa dei prodotti di livello 1 per le instabilità

Si riporta nella tabella che segue una sintesi schematica operativa dei livelli richiesti per l'analisi delle instabilità nei prodotti di consegna di livello 1 previsti per gli studi di MS in questione. Sono specificati i prodotti di competenza diretta degli affidatari.

		professionisti incaricati			
		livello 1		livello 3	livello 3
		CGT	MOPS	MS	MS
ZA	FR	X	X	X	
	LQ	X	X	X	
	FAC_a	X	X		
	FAC_b	X	X		
	FPAC	X			
ZS	FR				X
	LQ				X
	FAC_a				X
	FAC_b				X
	FPAC				X
ZR	FR				
	LQ				
	FAC				

CGT Carta Geologico Tecnica

MOPS Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica)

MS Carta di (Microzonazione Sismica)

Figura 1.11 – Sintesi schematica operativa delle attività richieste per l'analisi dell'instabilità. In rosso il livello 1

1.6.5 Quadro generale delle analisi di instabilità (livello 1 - livello3)

Questo paragrafo sintetizza l'intero percorso delle analisi di instabilità in modo da inserire tutte le attività del livello 1 nel quadro completo definito dalle linee guida ICMS.

Le Zone di Suscettibilità (ZS_{FR}) sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una stima (se possibile quantitativa) della pericolosità.

Le Zone di Rispetto (ZR_{FR}) sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte avanzati (per analizzare

dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare in modo affidabile la pericolosità.

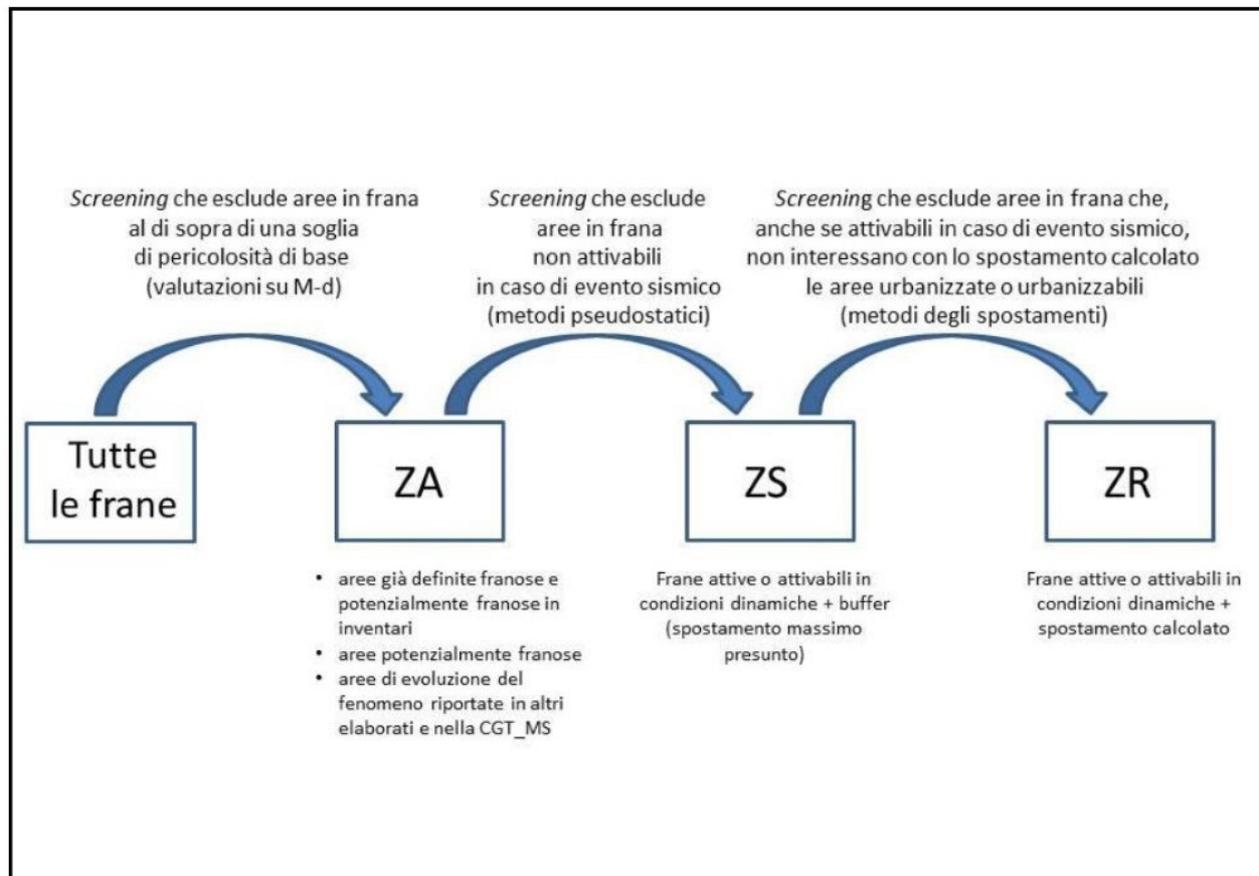


Figura 1.12 – Metodologia generale di individuazione delle ZA, ZS e ZR per le instabilità di versante (frane), da Linee Guida annesse ad ICMS.

L'individuazione delle $Z_{A_{FR}}$ secondo la definizione data da ICMS (Figura 1.12) consente di condurre, in un successivo livello 3, una operazione di *screening* che escluda dalle aree instabili perimetrate (considerando sia le aree effettivamente instabili, sia quelle potenzialmente instabili) quelle che non possono attivarsi in caso di evento sismico, ricorrendo a metodi semplificati (pseudostatici). Le aree in frana che dovessero risultare instabili all'azione sismica in queste analisi costituiranno la perimetrazione delle $Z_{S_{FR}}$. Solo studi più specifici ed approfonditi, finalizzati ad individuare le aree di invasione (runout) delle infrastrutture e/o del tessuto urbano, consentiranno di evincere dalle $Z_{S_{FR}}$ le $Z_{R_{FR}}$.

Bibliografia

- Albarello D., C. S. (2011). Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità di una carta di MS di livello 1. in “Contributi per l’aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”. *Ingegneria sismica*, a. XXVIII, n. 2 , 63-64.
- ASTM D2487, 2000. Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), in: ASTM Volume 04.08 Soil and Rock (I): D420 – D5876.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica. (2015a). *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0*. Roma: Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica. (2017). *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR), versione 1.0*. Roma: Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica. (2018). *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ)*.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica. (2020a). *Linee guida per la realizzazione della carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica con adattamento ai contesti vulcanici. Versione 1.0, Roma*.
- Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica. (2020b). *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica degli studi di MS vers.4.2beta, Roma*.
- Gruppo di Lavoro per la Microzonazione Sismica. (2008). *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province autonome*. 3 vol. e 1 DVD.
http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137.
- Fortunato C., Martino S., Prestininzi A., Romeo R.W., coauthors Fantini A., Sanandrea P. (2012). New release of the Italian catalogue of earthquake-induced ground failures (CEDIT). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.O-05,
- ISPRA (1988). *CARG, Cartografia Geologica e Geotematica*. Tratto da ISPRA:
<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/progetto-carg-cartografia-geologica-e-geotematica>
- ISPRA (2007). *IFFI- Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia*. Tratto da
<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/iffi-inventario-dei-fenomeni-franosi-in-italia>
- ISPRA. (s.d.). *ITHACA - Catalogo delle faglie capaci*. Tratto da
<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>
- Martini G., C. S. (2011). La carta geologico tecnica per gli studi di MS, in “Contributi per l’aggiornamento degli Indirizzi e Criteri per la microzonazione sismica”. *Ingegneria sismica*, a. XXVIII, n. 2.
- NTC18. (2018). *Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, NTC (2018) - DM 17 gennaio 2018*. Gazzetta Ufficiale, n. 42 del 20 febbraio 2018, Supplemento Ordinario n. 42,
<http://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2018/02/20/42/so/8/sg/pdf>.
- PAI. (2001). Piano stralcio Assetto Idrogeologico. *Gazzetta Ufficiale n. 183 dell’8 agosto 2001. Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 24 maggio 2001, adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 del 26 aprile 2001*.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2019). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
<https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>

2. PROTOCOLLO PER LA RAPPRESENTAZIONE ED ARCHIVIAZIONE INFORMATICA DEI DATI

Gli studi di Microzonazione di 1° livello prevedono la produzione di elaborati cartografici contenenti elementi diversi a seconda del tipo di cartografia (tab. 1). Gli elaborati cartografici e i dati su di essi rappresentati devono essere archiviati e riprodotti secondo le direttive illustrate nel documento “ Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta” (CTMS, 2020). I file prodotti devono essere archiviati in specifiche cartelle, strutturate come segue:

- Nomecomune_S42
 - BasiDati
 - CLE
 - GeoTec
 - Indagini
 - Documenti
 - MS1
 - MS23
 - Spettri
 - Plot
 - MS
 - CLE
 - Progetti
 - Vestiture

La struttura del modello di archiviazione e di rappresentazione delle informazioni deve attenersi strettamente a quanto indicato, anche in funzione della consegna degli elaborati finali che dovrà essere fatta con files in formato pdf contenuti nella cartella “Plot”; la carta geologico tecnica in formato raster o vettoriale dovrà essere archiviata nella cartella “Geotec”.

Tabella 2.1: elaborati cartografici previsti nella Microzonazione di 1° livello (modificato da “Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta”)

Prodotti	Elementi
Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)	Terreni di copertura
	Ambiente genetico e deposizionale
	Substrato geologico
	Instabilità di versante
	Forme di superficie e sepolte, comprensive di alcuni elementi lineari e puntuali
	Elementi tettonico strutturali
	Elementi geologici e idrogeologici
Carta delle Indagini	Indagini lineari
	Indagini puntuali
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS)	Zone stabili
	Zone stabili Suscettibili di amplificazioni locali
	Zone di Attenzione per instabilità: Zone di Attenzione per le Instabilità di versante (FR) Zone di Attenzione per le Liquefazioni (LQ) Zone di Attenzione per le Faglie Attive e Capaci (FAC) Zone di Attenzione per i Cedimenti Differenziali (CD) Zone di Attenzione per sovrapposizione di Instabilità Differenti (ID)
	Faglie attive e capaci
	Forme di superficie e sepolte
	Punti di misura di rumore ambientale
	Traccia sezione per gli approfondimenti delle amplificazioni topografiche
	Comprendente degli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi per l'area studiata e di almeno due sezioni litotecniche
Relazione Illustrativa	

Esempi dei prodotti cartografici sono visionabili su <https://sisma2016data.it/microzonazione/> dove sono riportati i dati relativi agli studi di microzonazione effettuati nei Comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016.

2.1 Rappresentazione

Gli elementi da inserire negli elaborati cartografici sono codificati con un modello di dati vettoriale (punto, linea, poligono) al quale è associata una tabella descrittiva. In base agli attributi presenti in tabella, gli elementi devono essere rappresentati utilizzando i simboli indicati nei modelli di legende descritti nel documento “Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta”. I dati vettoriali e i dati raster prodotti dovranno essere definiti e proiettati nel sistema di riferimento WGS84 UTM33N. I dati devono sovrapporsi correttamente a mappe di base definite secondo lo stesso datum come per esempio le Base Maps E.S.R.I., Open Street Maps, Google Maps (definite in WGS84 Web Mercator - Auxiliary Sphere) o con i servizi WMS nazionali e regionali che presentino stesso datum (WGS) e stessa proiezione (UTM). Il documento “Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta” illustra e mostra nel dettaglio le caratteristiche e l’organizzazione dei layouts di stampa delle varie carte.

2.1.1 La carta delle indagini

La Carta delle indagini per gli studi di MS è un elaborato che deve essere predisposto per ciascuna delle carte previste. La simbologia da utilizzare per ciascuna indagine è indicata nel documento “Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta”. Le indagini dovranno essere archiviate come dati alfanumerici nelle seguenti tabelle:

- Sito_Puntuale
- Sito_Lineare
- Indagini_Puntuali
- Indagini_Lineari
- Parametri_Puntuali
- Parametri_Lineari

Verranno predisposti i seguenti shapefile:

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione	Cartella di destinazione
Ind_pu	Puntuale	Siti delle indagini puntuali	Indagini
Ind_ln	Lineare	Siti delle indagini lineari	Indagini

2.1.2 Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione Sismica (CGT_MS)

In questa carta sono riportate tutte le informazioni di base (tab.1) derivate da carte ed elaborati esistenti a disposizione del soggetto realizzatore degli studi di MS, riferibili a rilievi di campagna, indagini pregresse e, nell’eventualità fossero previste, indagini di nuova esecuzione. La CGT_MS dovrà essere realizzata in formato raster (georiferito) o vettoriale, la scala di rilevamento e di

rappresentazione non dovrà essere inferiore a 1:10.000. Separatamente può essere allegato un file in formato pdf “Legenda”, nel quale saranno riportati la legenda della carta, i riferimenti della carta tecnica di base utilizzata, i riferimenti descrittivi della georeferenziazione e le coordinate geografiche dei 4 vertici della tavoletta utilizzata. Nel caso in cui si opti per la vettorializzazione della carta, le informazioni verranno archiviate nei seguenti shapefile:

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione	Cartella di destinazione
Forme	Poligonale	Forme di superficie e sepolte	GeoTec
Elineari	Lineare	Elementi lineari (escluse le isobate)	GeoTec
Epuntuali	Puntuale	Elementi puntuali	GeoTec
Geoidr	Puntuale	Elementi puntuali geologici e idrogeologici	GeoTec
Geotec	Poligonale	Unità geologico tecniche	GeoTec
Instab	Poligonale	Zone instabili	MS1

Le unità geologico-litotecniche andranno distinte tra terreni di copertura e substrato geologico, e per le coperture, lo spessore minimo da considerare è 3 m. La simbologia da utilizzare e i codici per descrivere tutti gli elementi sono riportati nel documento “Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta”.

2.1.3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Carta delle MOPS) è costituita da diversi elementi, come riportato in tabella 1, ed è costruita sulla base degli elementi predisponenti alle amplificazioni e alle instabilità sismiche già riportati nella CGT_MS. Le basi topografiche utilizzate per la rappresentazione della carta, in formato raster o vettoriale, dovranno essere a scala 1:10.000 o superiore. Per realizzare la Carta delle MOPS le informazioni verranno archiviate nei seguenti 6 shapefile:

Nome file	Tipo shapefile	Descrizione	Cartella di destinazione
Stab	Poligonale	Zone stabili e zone stabili suscettibili di amplificazioni locali	MS1
Instab	Poligonale	Zone di attenzione	MS1
Forme	Poligonale	Forme di superficie o sepolte	GeoTec
Isosub	Lineare	Isobate del substrato sepolto	MS1
Elineari	Lineare	Elementi lineari (escluse le isobate)	GeoTec
Epuntuali	Puntuale	Elementi puntuali	GeoTec

Nella legenda della carta, accanto al simbolo e al codice, sarà riportata anche una descrizione della microzona omogenea. Tutte le indicazioni sono contenute nel documento “Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta”.

2.1.4 Relazione Illustrativa

È un documento tecnico che accompagna gli elaborati cartografici. La struttura della Relazione Illustrativa è riportata nel paragrafo 1.6.4 degli ICMS (2008) ed è la seguente (“Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta”):

1. Introduzione
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento
3. Assetto geologico e geomorfologico dell’area
4. Dati geotecnici e geofisici
5. Modello del sottosuolo F17
6. Interpretazioni e incertezze
7. Metodologie di elaborazione e risultati
8. Elaborati cartografici
9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati
10. Bibliografia
11. Allegati

Ulteriori indicazioni sono riportate nel capitolo 3.4.5 della Parte III degli ICMS (2008). La Relazione illustrativa dovrà essere archiviata nella cartella “Plot/MS”.

2.2 Archiviazione

La struttura di archiviazione dei file, le denominazioni di campi e cartelle non possono essere modificati per le consegne previste nell’ambito dei finanziamenti delle ordinanze di attuazione dell’articolo 11 della legge 77/2009. Di seguito è riportata la tabella di sintesi che indica la tipologia e la denominazione dei file che archiviano le informazioni per ciascun elaborato cartografico, come illustrato nel paragrafo precedente.

Tabella 2.2: File necessari per predisporre le singole Carte, come previsto dal documento “Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta”.

Cartella	File	Carta delle indagini	Carta Geologica Tecnica per la microzonazione sismica (CGT_MS)	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Livello 1)
Indagini	Tabella "Sito_puntuale"			
	Tabella "Sito_lineare"			
	Tabella "Indagini_puntuali"			
	Tabella "Indagini_lineari"			
	Tabella "Parametri_puntuali"			
	Tabella "Parametri_lineari"			
	Tabella "Curve"			
GeoTec	Shapefile lineare: "Elineari"			
	Shapefile puntuale: "Epuntuali"			
	Shapefile poligonale: "Forme"			
	Shapefile poligonale: "Geotec"			
	Shapefile puntuale: "Geoidr"			
Indagini	Shapefile puntuale: "Ind_In"			
	Shapefile puntuale: "Ind_pu"			
MS1	Shapefile poligonale: "Instab"			
	Shapefile lineare: "Isosub"			
	Shapefile poligonale: "Stab"			

La struttura delle tabelle, degli shapefile e la loro archiviazione in un database è descritta nel documento di riferimento (Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta): qui sono presenti anche tutte le indicazioni per la decodifica dei vari elementi da rappresentare con tutti i codici che devono essere inseriti nelle tabelle.

Per esempio, le tabelle per le indagini sono state progettate per archiviare i dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini e hanno una struttura relazionale (Fig. 2.1) che le lega fra loro e con gli shapefile (per esempio i campi ID_SLN e ID_SPU per i siti lineari).

Tutte le tabelle dovranno essere contenute all'interno di un database relazionale che potrà essere realizzato in formato *.mdb* o *.SQLite*. Le relazioni consentono di collegare la parte grafica con le varie informazioni relative a ciascun tipo di dato inserito in modo da facilitare la creazione di tutti i prodotti che devono essere consegnati.

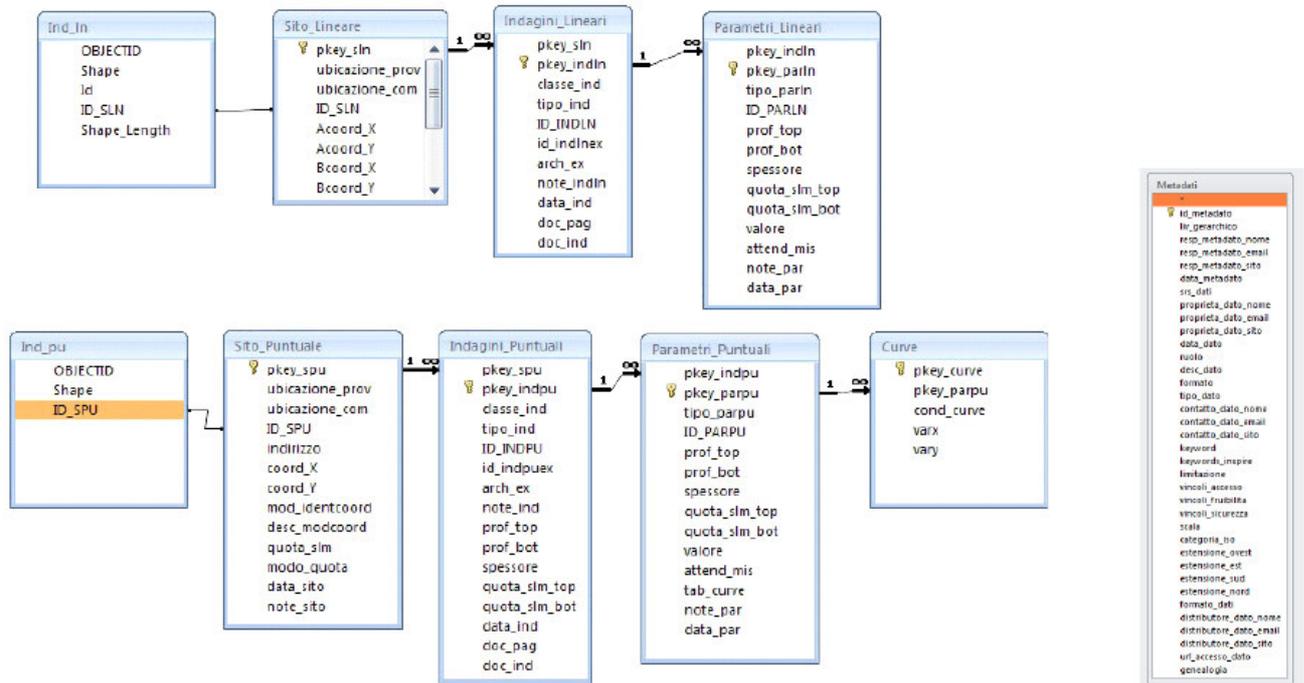


Fig. 2.1: Relazioni fra tabelle e shapefiles

Nel documento “Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta” sono anche riportate le tabelle per la decodifica dei parametri, delle indagini, dei terreni di copertura, del substrato e dei codici da inserire per la caratterizzazione dei vari elementi. Tali tabelle servono per riempire correttamente le varie schede del database relazionale e sono indispensabili per la corretta vestizione dei livelli informativi da riportare negli elaborati cartografici poiché sono legati alla simbologia ufficiale.

La complessità della struttura, le modalità di archiviazione e rappresentazione dei dati nonché la preparazione dei layout degli elaborati possono risultare macchinose e alquanto impegnative. Per venire incontro a questa esigenza l’Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) del CNR ha predisposto due strumenti informatici che consentono di inserire e gestire agevolmente, secondo gli standard, tutti gli elementi necessari per gli studi di Microzonazione Sismica.

Il primo di tali strumenti è il software *SoftMS* pensato per l’archiviazione delle informazioni in un database relazionale che, attraverso delle schede, guida l’utente alla corretta compilazione delle tabelle e dei parametri.

Il secondo strumento è il plugin “MzS Tool” per il software QGIS che consente di realizzare il database previsto per le procedure di Microzonazione Sismica in modo semplice e veloce, archiviare i dati e redigere gli elaborati cartografici. Utilizzando il plugin è anche possibile importare il database creato con *SoftMS* all’interno del progetto QGIS e far sì che le informazioni archiviate siano rappresentate con la simbologia corretta a seconda dell’elaborato cartografico da produrre.

Si consiglia pertanto di usare direttamente questo strumento per creare il database di ciascun comune inserendo le informazioni in modo opportuno.

2.3 Informatizzazione in un GIS

Lo strumento di più facile utilizzo per l'informatizzazione dei dati è il plugin *MzS Tools* per il software QGIS che permette di creare un database *.Sqlite* secondo gli standard previsti. Il plugin funziona in modo ottimale sul QGIS 2.18.24 e la procedura di installazione è uguale a quella degli altri plugin: dalla barra dei menu Plugins → Gestisci e installa plugin → Non Installati, quindi digitare *MzS Tools* all'interno della barra di ricerca; QGIS mostrerà una lista dei plugin presenti con le parole chiave digitate tra cui *MzS Tools*, quindi premere il pulsante "Installa plugin". Nel caso in cui il plugin non fosse visibile, è possibile abilitare la toolbar tramite il menu Visualizza → Barre degli strumenti → *MzS Tools*. Le indicazioni per l'utilizzo del plugin sono descritte nel Manuale (Tarquini et al., 2019) che si scarica al momento dell'installazione e al quale si accede dal tasto Help sulla barra degli strumenti di *MzS Tools*.

Il primo passaggio consiste nel creare un nuovo progetto per il comune considerato: compare l'elenco dei gruppi di layer (fig. 2.2) che riprendono l'organizzazione degli elaborati richiesti e la struttura dei prodotti finali così come previsti nel documento "Microzonazione sismica - Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica – versione 4.2beta". Le tabelle presenti nel progetto, sia quelle associate ai dati vettoriali che le altre previste, contengono i campi richiesti e denominati secondo le indicazioni presenti negli standard. Inoltre la simbologia associata a tutti i dati è già impostata secondo gli standard indicati. L'utilizzo del plugin consente anche di creare gli elaborati cartografici con le impostazioni ufficiali richieste per i layout e di esportare tutti i dati divisi e organizzati secondo le cartelle previste dal modello riportato nel paragrafo 2.2 di questo documento.

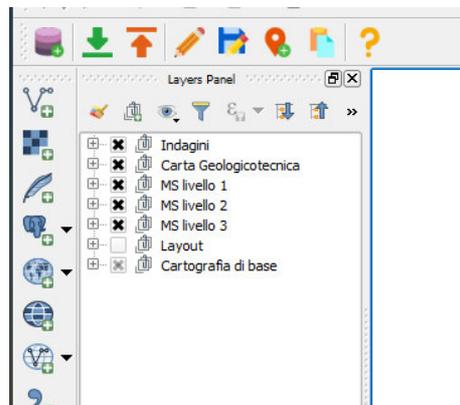


Fig. 2.2: L'organizzazione dei layers in gruppi secondo gli standard di Microzonazione Sismica.

All'interno del progetto GIS è possibile aggiungere altri livelli informativi che si ritengono utili, come lo shapefile dei centri abitati e dei nuclei abitativi o quello delle perimetrazioni che delimitano le aree oggetto di indagine: tali layers non compromettono la struttura del database e degli elaborati cartografici previsti in fase di consegna.

L'inserimento dei siti puntuali e lineari deve avvenire sulla base delle informazioni contenute nei documenti; si consiglia di importare i pdf delle indagini nella cartella allegati/documenti presente nella cartella con il nome del Comune oggetto degli studi di Microzonazione Sismica che si crea automaticamente quando si imposta il nuovo progetto.

La procedura per l'inserimento del dato nel database prevede una serie di passaggi che iniziano con l'inserimento manuale delle coordinate attraverso il comando "Add 'Sito puntuale' using xy coordinates" e prosegue come indicato nel Manuale (Tarquini et al., 2019) o nei tutorials presenti *on line*. Infatti, è possibile avere ulteriori indicazioni visualizzando i video tutorials presenti sul

canale youtube MZS TOOLS al link: <https://www.youtube.com/channel/UCFtx86v8YerDwA-EajHosAQ/featured>

Inoltre è attivo il portale Webgis all'indirizzo <http://www.webms.it/> sul quale sono pubblicati i dati di Microzonazione Sismica già validati per tutta Italia e il sito <https://sisma2016data.it/microzonazione/> dal quale è possibile visionare e scaricare gli elaborati cartografici per gli studi di microzonazione sismica effettuati nei Comuni del centro Italia colpiti dagli eventi sismici a far data dal 24 agosto 2016.

2.4 Inserimento dei dati di Microzonazione Sismica pregressi nel progetto QGIS

È possibile inserire i dati già esistenti per la Microzonazione Sismica di 1° livello dei comuni oggetto del monitoraggio negli anni passati. I dati raccolti non rispettano del tutto gli standard indicati negli ultimi documenti ufficiali, ma è possibile inserirli in un progetto di QGIS 2.18.24 con il plugin *MzS Tools*.

Dalle cartelle che costituiscono la base di dati dei monitoraggi precedenti possono essere aggiunti i vari shapefiles che costituiscono il punto di partenza per l'implementazione del progetto QGIS di ciascun comune. Attivando l'editing è possibile copiare e incollare gli elementi geometrici dallo shapefile aggiunto al progetto nel livello informativo appropriato già esistente e a seconda del tipo di dato. Le geometrie presenti nella cartella indagini vanno incollate, previa attivazione dell'editing, nel layer opportuno del gruppo "Indagini". Consultando le informazioni dello shapefiles ed eventualmente le relazioni in pdf presenti nella cartella degli studi precedenti, avendo cura di specificare il percorso del pdf inserendolo nella cartella "documenti", è possibile procedere con il completamento manuale della tabella degli attributi secondo le indicazioni contenute nel Manuale (Tarquini et al., 2019) o seguendo le procedure che è possibile trovare su youtube.com e popolare il database. La stessa procedura si può seguire per inserire le informazioni nel gruppo "Carta Geologicotecnica" e del gruppo "MS livello 1" utilizzando gli shapefiles del monitoraggio precedente.

Bibliografia

Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica. (2020) - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.2 beta, Roma. 137 pp.

ICMS (2008). Gruppo di lavoro MS. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile.
http://www.protezionecivile.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137

Tarquini E., Cosentino G., Pennica F. (2020) - Manuale per l'utilizzo del plugin "MzS Tools". Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) 36 pp

3. PROTOCOLLO DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DI REGISTRAZIONI DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE

A supporto degli Studi di microzonazione di 1° livello si richiede la predisposizione di una carta delle frequenze di risonanza che caratterizzano l'area di indagine. Tale carta deve fornire un supporto alla identificazione delle zone dove, tra i terreni di copertura (TC) ed il substrato sismico (SS), sono presenti contrasti di impedenza tali da poter determinare fenomeni di amplificazione significativi a frequenze di interesse ingegneristico per il contesto territoriale dell'area di studio (tipicamente 0.9 - 10 Hz). Il riconoscimento di tali frequenze, se accompagnato da informazioni sulla velocità dei terreni di copertura, può anche fornire indicazioni sulla profondità dell'interfaccia TC/SS.

3.1 Distribuzione spaziale dei siti di misura

La distribuzione spaziale dei siti di misura deve essere valutata in relazione alla complessità dell'assetto geologico e geomorfologico. Per ogni microzona rappresentata nella carta delle MOPS, occorre prevedere almeno un sito di misura, anche nel caso di zone stabili per le quali non si prevede la presenza di amplificazione. Tuttavia, per valutare l'omogeneità della risposta dinamica all'interno di una microzona, è consigliabile acquisire dati su almeno 3 siti di misura per ogni microzona, in posizioni distribuite tra centro e periferia della zona e, in presenza di dislivelli maggiori di 30 m, in corrispondenza di quote diverse. La distanza media tra i siti di misura non dovrebbe superare i 200 m, inserendo, se necessario, ulteriori punti intermedi.

Nella scelta dei siti di misura va evitata la vicinanza a sorgenti di disturbo artificiale quali mezzi meccanici a lavoro su strada, macchine industriali, pompe in attività. Il disturbo prodotto dal passaggio di veicoli veloci su strada può essere risentito sino a 15-20 m e quindi il sensore andrebbe tenuto ad una distanza superiore da strade trafficate. Se però il passaggio dei veicoli è sporadico, il segnale di disturbo può essere riconosciuto e rimosso durante l'elaborazione. Va anche evitato, per quanto possibile, il posizionamento del sensore in prossimità di alberi o pali (che, in presenza di vento, possano trasmettere vibrazioni al suolo), o nei pressi di edifici, dato che le vibrazioni dell'edificio possono generare segnali di rumore che riflettono le frequenze di risonanza dell'edificio, piuttosto che quella del suolo. Come regola cautelativa, gli effetti dell'interazione edificio-suolo si possono ritenere trascurabili se ci si pone ad una distanza comparabile con l'altezza della struttura.

3.2 Strumenti di registrazione del rumore

Vanno utilizzati velocimetri a tre componenti con auto-frequenza del sensore non superiore a 2 Hz e con sensibilità almeno di 10^{-8} m/s nell'intervallo di frequenze 0.1-20 Hz. Il sistema di acquisizione deve consentire un campionamento con frequenza non inferiore a 100 Hz. È da preferire l'uso di strumenti specificamente progettati per misure di rumore sismico ambientale (tromografi) rispetto a sismografi di uso sismologico.

3.3 Modalità di acquisizione

Per ogni sito si suggerisce di acquisire almeno 30 minuti di registrazione per ogni sito, eventualmente suddivisi tra due posizioni distanziate di circa 10 metri, per controllare la rappresentatività del risultato delle analisi di rumore nell'intorno del sito di misura. È consigliabile inoltre ripetere le misure a distanza di qualche settimana, possibilmente con condizioni meteorologiche diversificate

(per esempio con e senza vento o con terreno asciutto o bagnato), per verificare la stabilità dei risultati rispetto alle condizioni ambientali di acquisizione.

Lo strumento va orientato, annotando la direzione dei suoi assi orizzontali principali nel caso non coincidano con il nord e l'est, va controllata l'orizzontalità della superficie base, centrando la bolla nella livella e verificando che la centratura si sia conservata fino alla fine della registrazione. Per assicurare un buon accoppiamento sensore-terreno, occorre porre lo strumento a diretto contatto col terreno rendendolo solidale con questo, evitando l'appoggio su terreni erbosi, su terreni molto soffici e cedevoli, su neve, pietrisco e ciottolame. È il caso di verificare se, rimuovendo con una zappetta l'erba e, se presente, uno strato superficiale di 5-10 cm di materiale soffice o incoerente, sia possibile scoprire una superficie di suolo più compatta, o che possa essere resa compatta pressandola con la zappetta o con i piedi, su cui poggiare il sensore in modo stabile. Se ciò non fosse possibile, va considerato lo spostamento del punto di misura in una posizione diversa. Il parziale infossamento della superficie d'appoggio può anche fornire una protezione del sensore dagli effetti di spostamento d'aria e del contatto con erba e foglie nel caso di giornate ventose. Una pioggia leggera non comporta un disturbo serio, purché non colpisca direttamente lo strumento. Per quanto possibile, va evitato il posizionamento del sensore su superfici artificiali (asfalto, cemento, lastricati), specie se coprono terreni soffici. Quando questo non fosse possibile, nell'interpretazione dei dati è necessario tener conto dei possibili effetti indotti, assimilabili ad un'inversione di velocità, che può determinare valori di $H/V < 1$ su un'ampia banda di frequenze.

Per ogni punto di misura va annotata la natura dei terreni in affioramento, il contesto antropico circostante in cui si effettuano le misure (aperta campagna, strade urbane o extra-urbane, parchi cittadini, ecc.), nonché la prossimità a possibili fonti di disturbo (alberi, edifici) e le loro caratteristiche (altezza e distanza). Vanno inoltre annotate tutte le situazioni che possono influenzare il segnale (condizioni meteo, occasionali fonti di rumore riscontrate). A titolo di guida, si fornisce in allegato una scheda-tipo che va riempita durante l'acquisizione con annotazioni relative a gli elementi sopra menzionati.

3.4 Procedura di analisi dei dati

Alcuni tromografi sono venduti corredati di software per l'analisi delle registrazioni (per esempio il pacchetto Grilla con i diversi modelli di Tromino della Micromed-Moho). Tuttavia è anche possibile utilizzare software open-source come Geopsy, prodotto dal progetto europeo SESAME, scaricabile dal sito www.geopsy.org. In tutti i casi occorre prestare attenzione alle opzioni che si selezionano in fase di elaborazione.

La procedura di analisi consta dei seguenti passi:

- 1) La registrazione va suddivisa in finestre temporali di 20 o 30 secondi, con terminazione cosinusoidale al 5% (tipo finestra di Tukey), secondo che si voglia spingere l'analisi verso le basse frequenze fino a un limite, rispettivamente, di 0.5 o 0.33 Hz.
- 2) Dalla registrazione vanno scartate quelle parti che presentano segnali transitori prodotti da sorgenti di rumore occasionali vicine e di breve durata (per esempio il passaggio di un veicolo). Un criterio di selezione automatica che può essere adottata è quello (in Grilla) di rimuovere le finestre per le quali la deviazione standard del segnale all'interno della finestra supera di un fattore specificato (per es. 2 o 3) quella dell'intero segnale (vedi Fig. 3.1b), oppure l'applicazione di un anti-trigger (in Geopsy), che scarta la parte di registrazione in cui il rapporto tra le ampiezze medie del segnale calcolate su un breve intervallo di tempo (short time average - STA) e su un lungo intervallo di tempo (long time average - LTA), risulta anormalmente alto (per es. > 2.5) o

anormalmente basso (per es. < 0.2 : vedi Fig. 3.1c). E' comunque raccomandato anche l'esame dello spettrogramma che mostra come variano i rapporti H/V lungo tutta la registrazione (Fig. 3.2) in modo da poter riconoscere ulteriori intervalli temporali da scartare manualmente, in cui i rapporti H/V deviano notevolmente dall'andamento medio, per esempio con la scomparsa dei massimi osservati nella maggior parte delle finestre (Fig. 3.2a), oppure per la presenza di rapporti elevati su una banda molto estesa di frequenze (Fig. 3.2b).

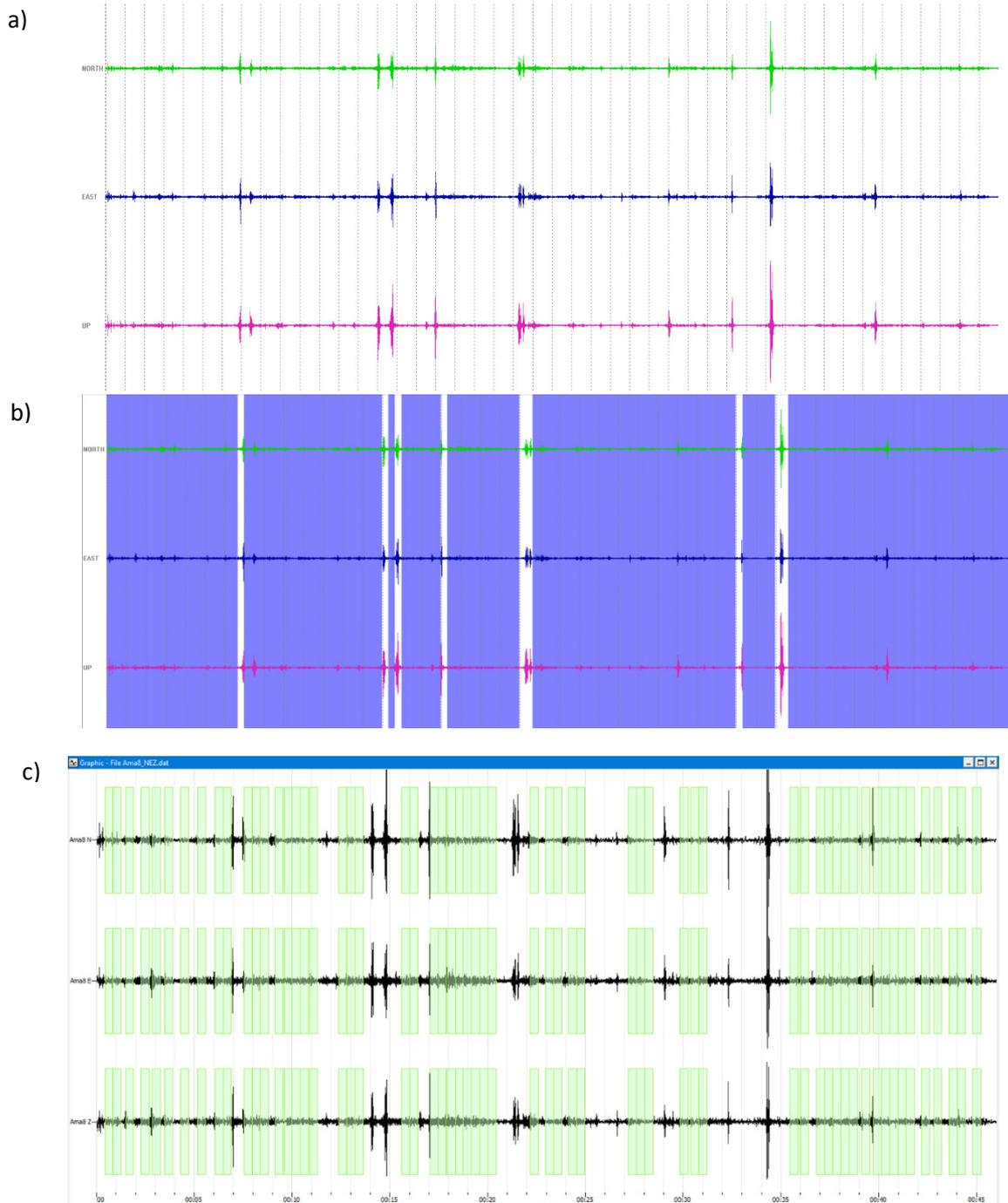


Fig. 3.1 - Esempio di selezione automatica delle finestre temporali da analizzare: a) registrazione completa; b) finestre la cui deviazione standard non supera di un fattore 2 quella dell'intero segnale (marcate in viola in b - da elaborazione con Grilla); c) intervalli temporali in cui il rapporto STA/LTA è compreso nell'intervallo 0.2-2.5 (in verde in c - da elaborazione con Geopsy).

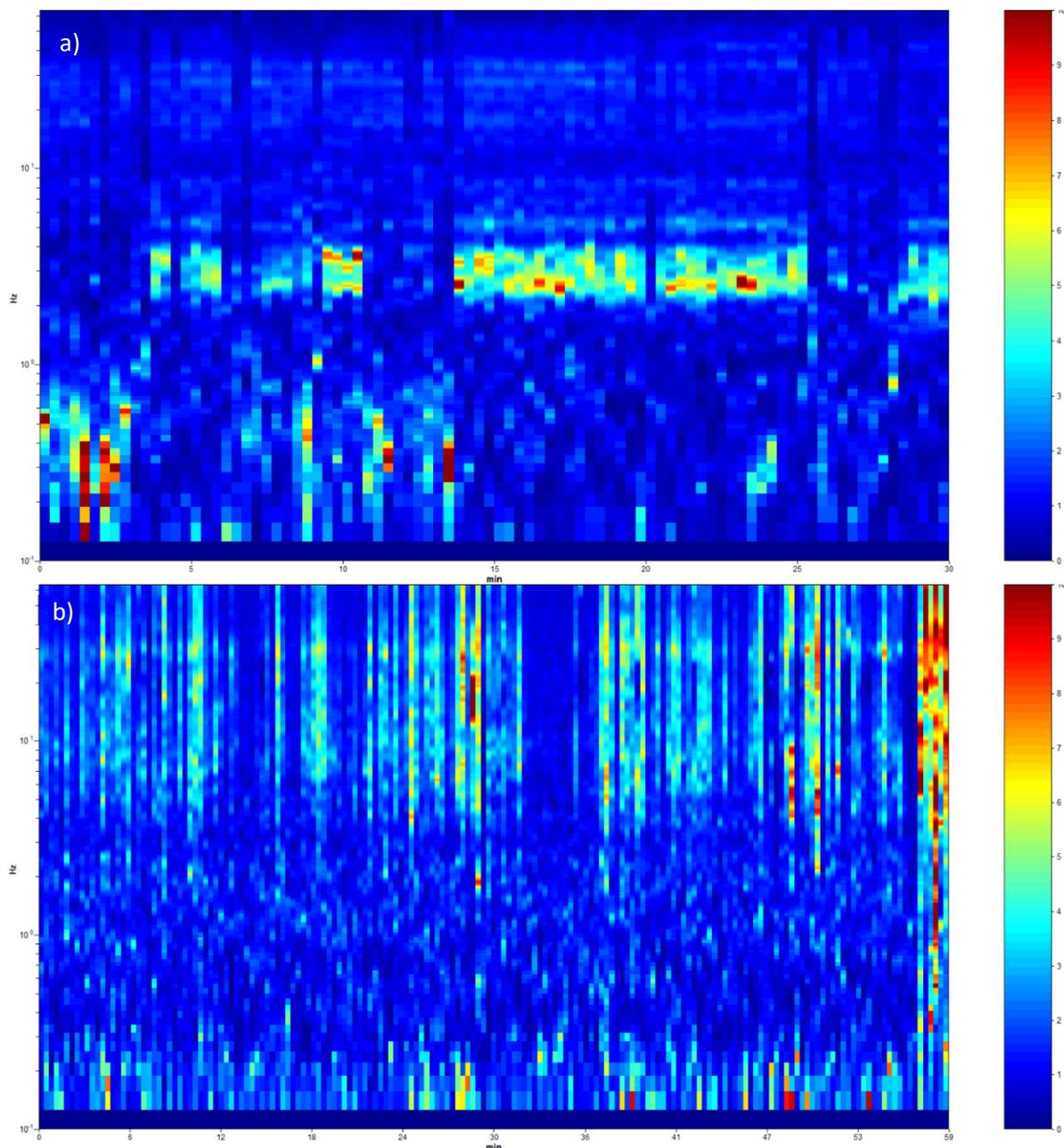


Fig. 3.2 - Esempi di spettrogramma dei rapporti spettrali H/V, in cui picchi spettrali persistenti nella maggior parte delle finestre scompaiono temporaneamente (a), o in cui compaiono rapporti spettrali elevati su una banda molto ampia di frequenze (b - verso la fine della registrazione).

- 3) Sulle finestre temporali selezionate vanno calcolati gli spettri delle tre componenti mediante FFT.
- 4) Gli spettri vanno lisciati con funzioni di “smoothing”, per esempio applicando, per ogni frequenza f_c analizzata, una media triangolare delle ampiezze su una banda di frequenze centrata su f_c con semi-ampiezza pari al 5% o al 10% di f_c , oppure applicando la funzione di Konno e Ohmachi (1998), ponendo il parametro b uguale a 40.
- 5) Per ogni finestra temporale, vengono calcolati i rapporti spettrali H/V tra la media geometrica delle ampiezze spettrali delle due componenti orizzontali e l’ampiezza della componente verticale.

- 6) Se si vuole effettuare un'analisi direzionale, vanno calcolati i rapporti spettrali H/V tra le ampiezze di componenti orizzontali in direzioni diverse ad intervalli di azimut definiti (tipicamente ogni 10°) e le ampiezze della componente verticale.
- 7) I rapporti spettrali H/V calcolati con le modalità di cui ai due punti precedenti, vanno mediati su tutte le finestre temporali selezionate e viene calcolata la relativa deviazione standard. I software di analisi generalmente forniscono una rappresentazione grafica della curva media dei rapporti H/V e dell'intervallo di questi valori compreso entro \pm una deviazione standard, nonché la frequenza di picco stimata corredata della deviazione standard della stima (Fig. 3.3).

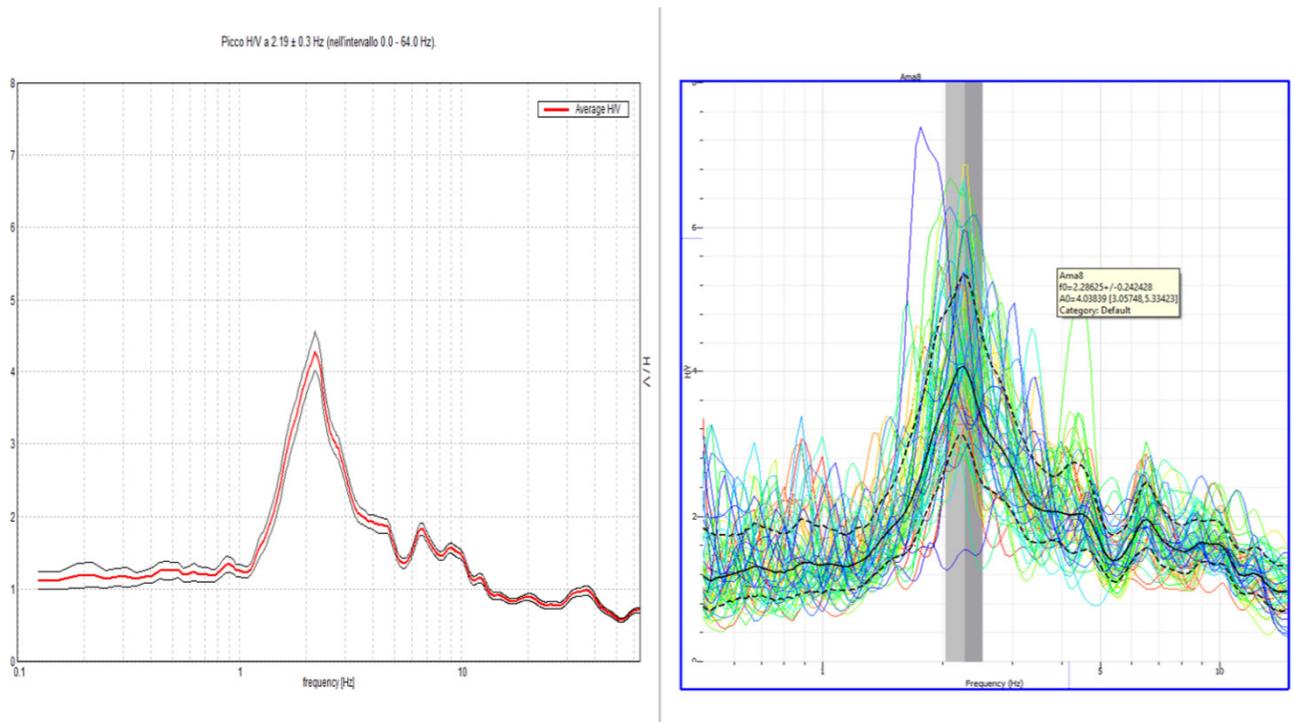
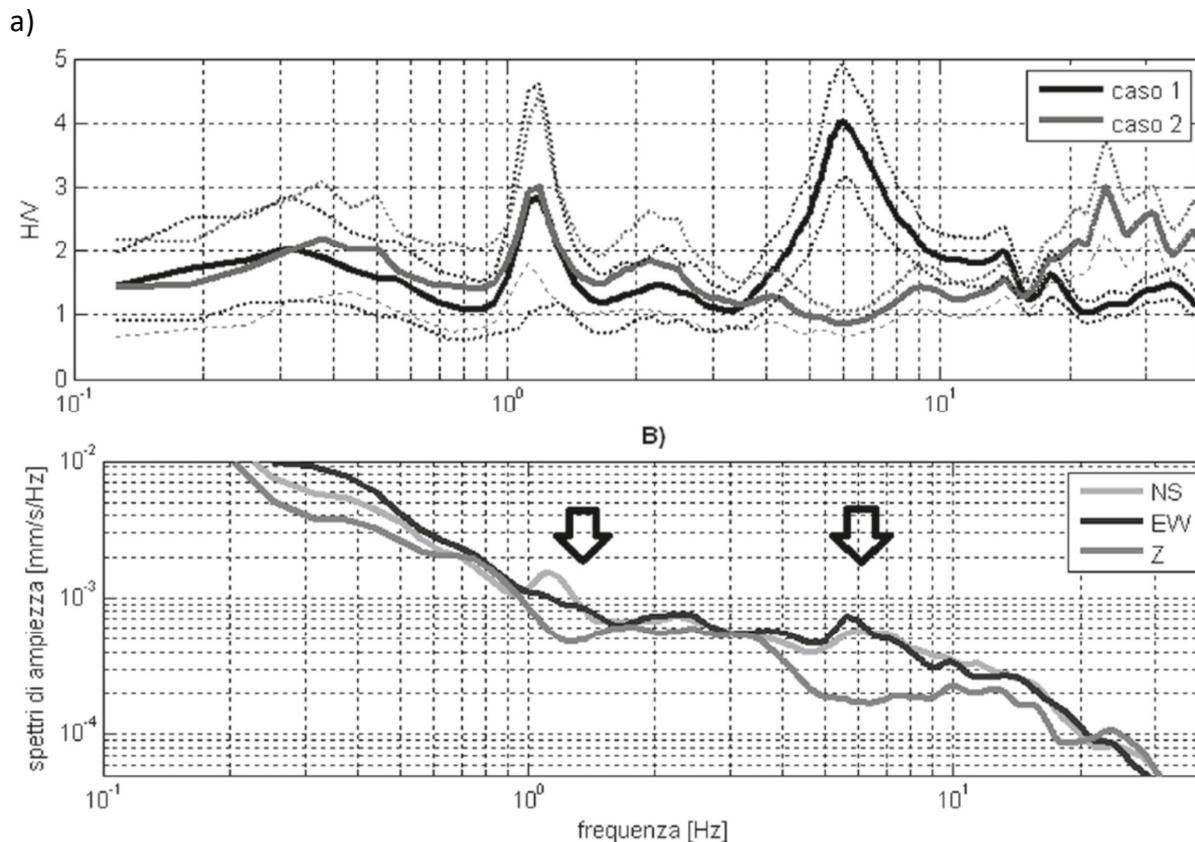


Fig. 3.3 - Esempi di curva media dei rapporti spettrali H/V calcolata con Grilla (a) e con Geopsy (b).

3.5 Criteri di interpretazione dei risultati

In presenza di condizioni di risonanza di sito, la curva dei rapporti spettrali H/V mostra tipicamente uno o più picchi pronunciati in corrispondenza delle frequenze di risonanza associate a uno o più contrasti di impedenza significativi presenti nella stratificazione del suolo al di sotto del sito di misura. Un picco della curva H/V, tuttavia, non è sempre associato ad una risonanza di sito, perché può anche essere causato da sorgenti di rumore artificiale. In questi casi si può osservare un massimo nelle ampiezze spettrali sia sulle componenti orizzontali che su quella verticale, anche se il massimo per quest'ultima può essere meno pronunciato. Nel caso di risonanza prodotta da contrasti di impedenza nella stratigrafia del suolo, invece, il picco dei rapporti H/V è associato a un minimo relativo nelle ampiezze spettrali della componente verticale. È quindi opportuno accompagnare l'esame della curva H/V con quella degli spettri delle singole componenti. In presenza di risonanza stratigrafica si osserverà un'inflexione verso il basso della curva delle ampiezze spettrali della componente verticale, mentre in caso di rumore artificiale, anche lo spettro della componente V presenterà un massimo relativo, sia pure meno pronunciato di quello delle componenti orizzontali (Fig. 3.4).



b) **Spettri relativi alle tre componenti**

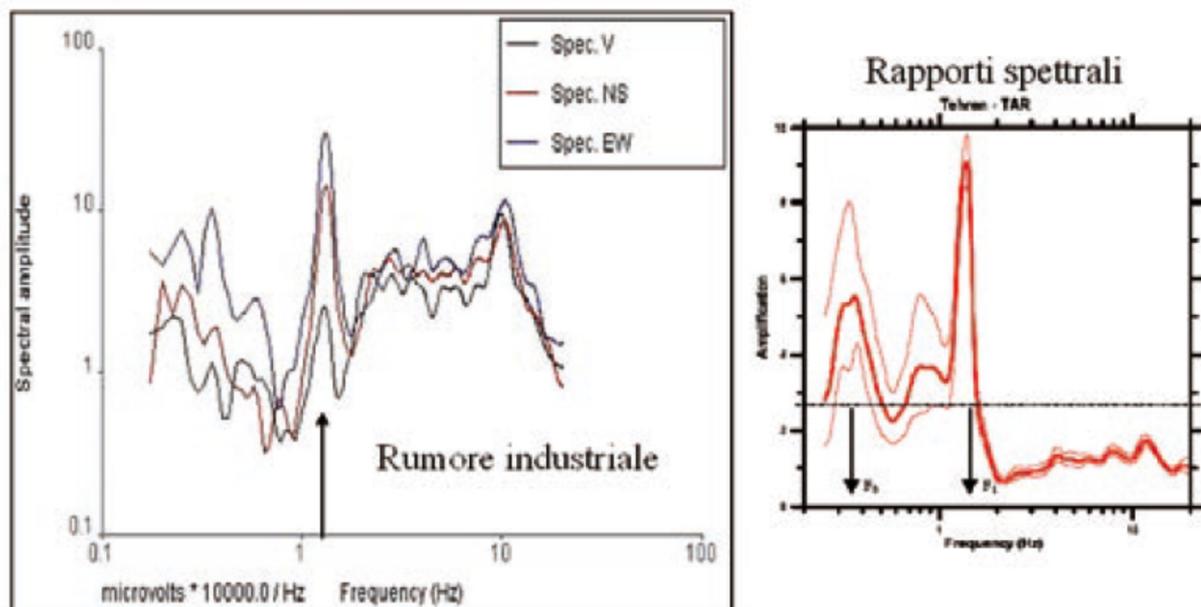


Fig. 3.4 - Esempi di picchi dei rapporti spettrali H/V prodotti da: a) risonanza stratigrafica (da Albarello & Castellaro, 2011); b) segnali artificiali (da Gruppo di Lavoro MS, 2008).

L'identificazione di fenomeni di risonanza causati dalla risposta dinamica dei suoli va fatta tenendo conto non solo dell'aspetto della curva H/V, ma anche del contesto geologico. In generale, un picco molto alto e stretto, a carattere quasi monocromatico, va valutato con cautela in quanto può essere di origine artificiale, mentre, per lo più, una risonanza stratigrafica si presenta con un massimo relativamente più largo. Tuttavia, su affioramenti rocciosi attraversati da sistemi di fratture aperte, si possono rilevare picchi H/V alti e stretti, con marcata direzionalità perpendicolare alle fratture, per effetto di risonanza associata alla vibrazione dei blocchi di roccia delimitati dalle fratture. In tal caso la frequenza di risonanza dipende dalla geometria dei blocchi, piuttosto che da velocità e spessore dello strato superficiale. La persistenza del picco H/V in misure ripetute in tempi diversi con marcata direzionalità correlata alla direzione delle fratture, combinata con un minimo delle ampiezze spettrali sulla componente verticale, può dirimere l'incertezza sulla origine del picco osservato (vedi Fig. 3.5).

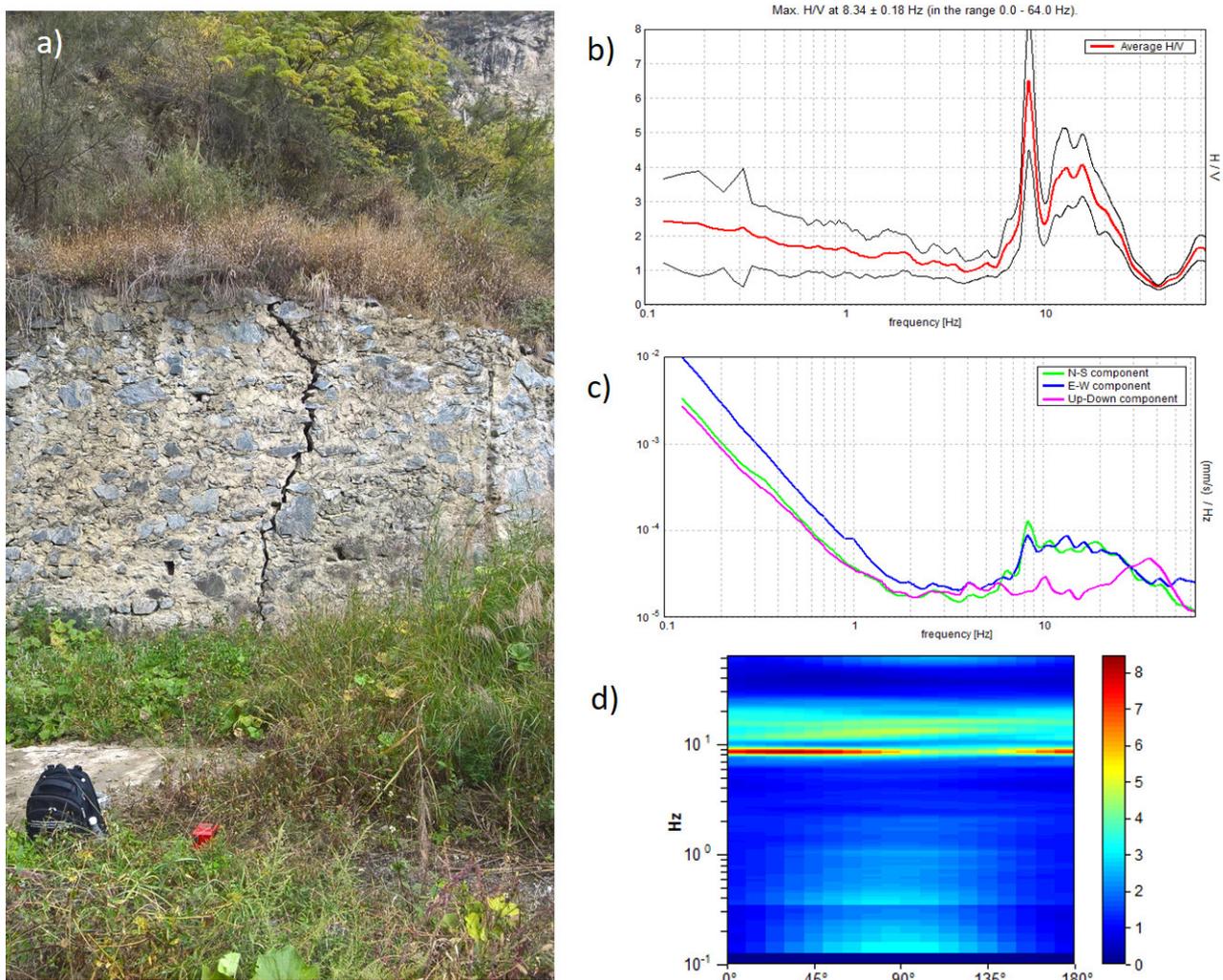


Fig. 3.5 - Esempio di risonanza prodotto da vibrazione di blocchi rocciosi separati da fratture aperte: a) foto del sito di misura; b) curva dei rapporti spettrali H/V che mostra un picco acuto attorno a 8 Hz; c) ampiezze spettrali delle tre componenti; d) variazioni direzionali dei rapporti H/V.

L'analisi delle variazioni direzionali dei rapporti H/V, può anche rivelare la presenza di risonanze anisotrope, con effetti di amplificazione massima del moto del suolo in una specifica direzione. Tuttavia il riconoscimento di fenomeni di direzionalità nella risposta di sito richiede analisi approfondite, dato che un massimo direzionale nei rapporti H/V osservato in una singola misura può

anche dipendere dalla presenza, nell'intorno del punto di misura, di una distribuzione fortemente anisotropa di sorgenti di rumore polarizzato. La presenza di una direttività va quindi confermata attraverso la ripetizione delle misure in tempi diversi e con diverse condizioni ambientali (per esempio con venti dominanti diversamente orientati) e mediante confronto con il contesto geologico circostante.

Fenomeni di risonanza direzionale sono stati osservati in situazioni quali zone di fagliazione (in direzione normale o parallela a quella della faglia), rocce o terreni attraversati da sistemi di superfici di discontinuità quali fratturazioni, fessurazioni, giunti di strato e scistosità (perpendicolarmente a queste superfici), frane (nella direzione del movimento gravitativo) e su rilievi topografici allungati (trasversalmente alla direzione di allungamento). Si può ritenere significativa la direttività rilevata nei rapporti H/V se, alla frequenza di picco, i valori del massimo e del minimo direzionale di questi rapporti differiscono almeno di un fattore 1.5 e se, tra misure ripetute, le direzioni di massimo riscontrate non differiscono per più di 30°-40°.

Va infine sottolineato che il dato più affidabile risultante dall'analisi dei rapporti H/V è quello relativo all'identificazione delle frequenze di risonanza. Se questa è unica ed è associata ad un picco marcato, in presenza di condizioni di sito caratterizzate dalla presenza di un terreno di copertura (TC) sub-orizzontale sovrapposto a un substrato sismico (SS) che si estende in profondità con caratteristiche relativamente omogenee, si può usare la frequenza del picco massimo f_0 per ricavare informazioni sulla velocità media V_s e lo spessore H di TC tramite la relazione

$$f_0 = \frac{V_s}{4H} \quad [1]$$

da cui stimare una delle due grandezze se è nota l'altra da fonti indipendenti (stratigrafia di un pozzo o risultati di una tomografia elettrica per H , indagini di sismica per V_s). L'applicazione di tale formula va però esclusa del caso di risonanza controllata da modi normali di vibrazione di blocchi rocciosi separati da fratture aperte, precedentemente descritto.

Le ampiezze dei picchi H/V non sono invece interpretabili direttamente come misure dei fattori di amplificazione, anche se presentano una certa correlazione con questi, sicché, in aree geologicamente omogenee, una maggiore o minore ampiezza del picco si può considerare indicativa di un maggiore o minore fattore di amplificazione e valori di picco minori di 2 si possono considerare indicativi di effetti di amplificazione poco significativi. Occorre tuttavia tener presente che i valori di ampiezza risultanti da una singola misura possono risultare fuorvianti, dato che ci sono fattori di variabilità molto elevata nel risultato della misura delle ampiezze, dipendenti da condizioni ambientali che comportano variazioni nella proporzione di onde di tipo diverso (P, S, Rayleigh, Love) nel rumore ambientale. Inoltre, in condizioni di sito complesse per la presenza di topografia irregolare, geometria complessa dell'interfaccia TC/SS, anisotropia delle proprietà meccaniche dei materiali (per la presenza di fratturazioni, scistosità, ecc.), può venir meno la validità dell'assunto di base del metodo, secondo cui la componente verticale del moto del suolo non è soggetta ad amplificazione. In tali casi, la presenza di un picco H/V inferiore a 2 non è garanzia dell'assenza di fenomeni di amplificazione importanti, in quanto il rapporto H/V può risultare notevolmente depresso dalla presenza di amplificazioni della componente verticale, che fanno aumentare il denominatore.

3.6 Valutazione della qualità della misura

Sono stati proposti diversi criteri per classificare la qualità dei risultati delle misure (per esempio nel progetto SESAME, 2004). Ai fini delle indagini di Microzonazione Sismica di livello 1 si è convenuto di introdurre i seguenti criteri di classificazione, che integrano proposte avanzate in studi diversi. Sono definite tre classi di qualità delle misure, identificate dalle lettere A, B e C, in ordine di qualità

decescente, e due tipi di curve identificate dai numeri 1 e 2. In relazione a queste suddivisioni, una misura viene classificata mediante una combinazione di una lettera rappresentativa della qualità e di un numero rappresentativo del tipo (per esempio A1, B2, ecc.).

Classi di qualità

Una misura dei rapporti spettrali H/V si definisce di classe A se sono soddisfatti i seguenti requisiti:

- 1) La registrazione di rumore ha avuto una durata di almeno 15 minuti;
- 2) (Criteri SESAME di affidabilità statistica) In presenza di un picco di risonanza f_0 , risulta che: a) le finestre temporali in cui la registrazione è stata suddivisa sono di lunghezza $L_w > 10/f_0$; b) a lunghezza totale del segnale utilizzato per il calcolo dei rapporti H/V medi deve essere almeno pari a $200/f_0$; c) in un intervallo di frequenze compreso tra $f_0/2$ e $2f_0$, la somma e la differenza del valore medio H/V \pm la deviazione standard non devono differire dal valore medio H/V per più di un fattore 2 o 3, a seconda che f_0 sia maggiore o minore di 0.5 Hz (vedi Fig. 3.6).

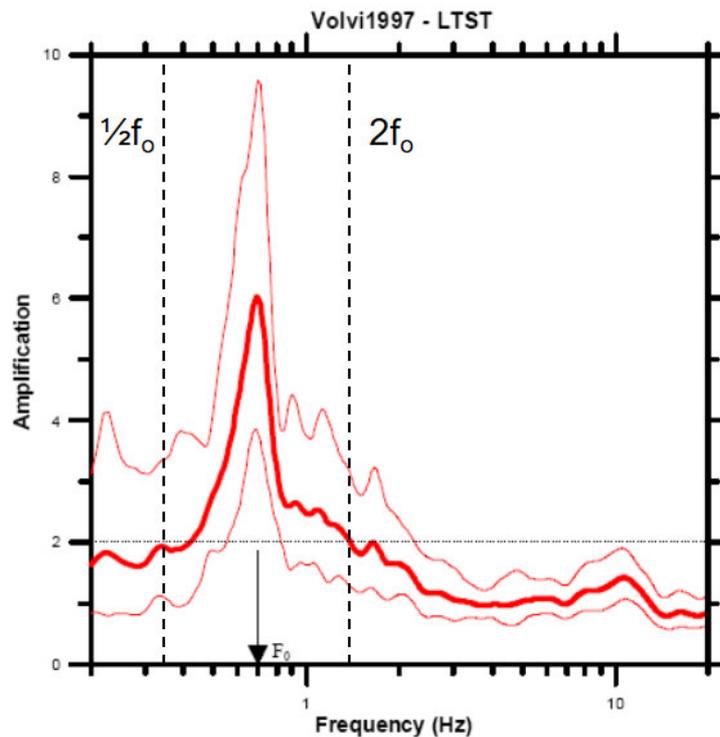


Fig. 3.6 - Esempificazione del terzo criterio SESAME di affidabilità statistica (criterio 2c, nel testo): essendo $f_0 > 0.5$ Hz, i valori di H/V medio \pm la deviazione standard (curve rosse sottili) non devono differire per più di un fattore 2 (cioè non devono essere, rispettivamente, più del doppio e meno della metà) del valore medio di H/V (curva rossa spessa) nell'intervallo di frequenze compreso tra $f_0/2$ e $2f_0$ (delimitato dalle linee tratteggiate verticali: modificato da SESAME Team, 2004).

- 3) La forma della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse è la stessa (massimi relativi attorno alle medesime frequenze) per almeno il 30% circa della durata della misura (stazionarietà: vedi esempio di Fig. 3.2a).
- 4) In presenza di picchi nella curva H/V, questi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (plausibilità fisica: vedi esempi di Figg. 3.4a e 3.5c).

5) Non ci sono indizi di disturbi artificiali nella banda di frequenza di interesse (assenza di disturbi) evidenziati da massimi relativi nelle ampiezze spettrali della componente verticale alle frequenze di picco di H/V (vedi esempio di Fig. 3.4b).

6) Le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo (isotropia).

È da sottolineare che i criteri n. 2 e 4 diventano irrilevanti in caso di curve piatte privi di picchi di risonanza, quali sono quelle attese in siti in roccia esenti da amplificazioni.

Si definisce di classe B una misura in cui non è soddisfatta almeno uno tra i requisiti 1), 2), 3), 4) e 6) che caratterizzano una misura di classe A.

Si definisce di classe C, una misura che presenti una delle seguenti condizioni:

1) ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura (vedi Fig. 3.7);

2) non soddisfa il requisito 5) che caratterizza una misura di classe A (evidenza di rumore artificiale) nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse (vedi esempio di Fig. 3.4b).

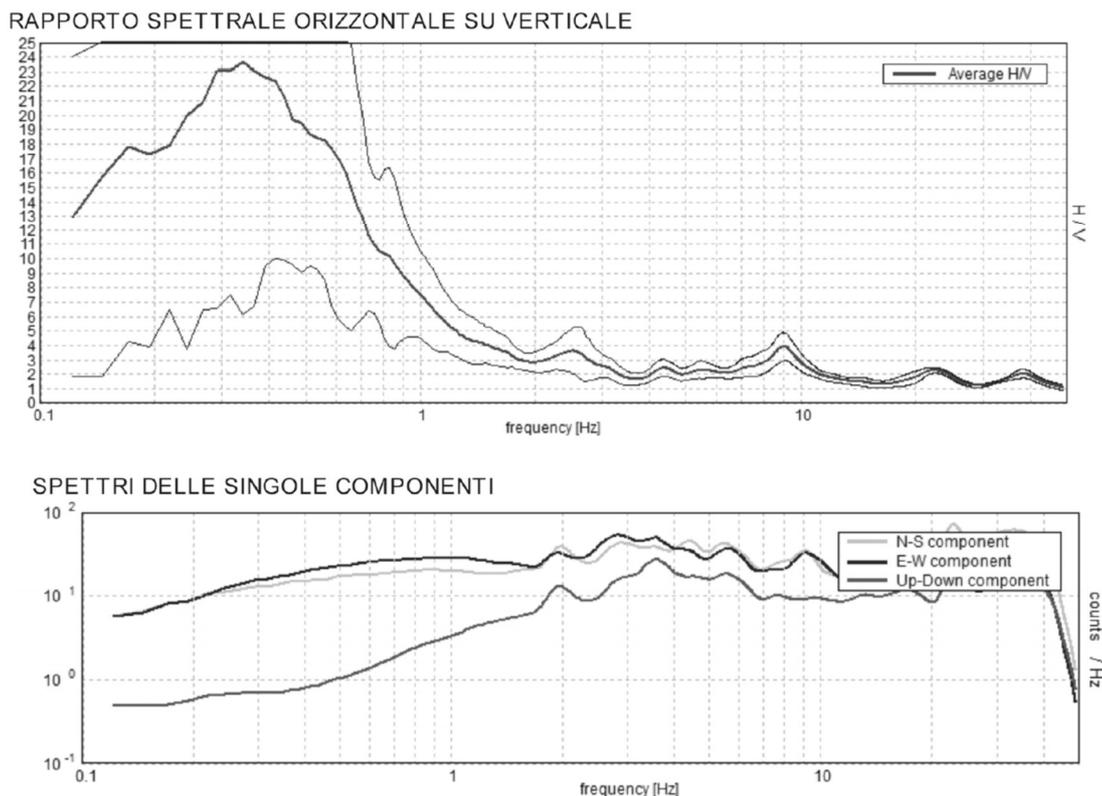


Fig. 3.7 - Esempio di curva dei rapporti spettrali H/V derivata da una registrazione durante la quale si è verificato un basculamento del sensore (da Albarello & Castellaro, 2011).

In una misura di classe A, la identificazione della frequenza di risonanza principale si può ritenere affidabile e il dato può essere usato per interpretazioni quantitative (per esempio attraverso l'equazione [1]), senza la necessità di ulteriori approfondimenti. Nel caso di una misura di classe B, la definizione delle caratteristiche della risonanza di sito va fatta con cautela e può essere ritenuta affidabile solo se si presenta coerente con i risultati di misure vicine. Nel caso di una misura di classe

C, il risultato delle misure è da considerarsi inaffidabile e da non utilizzare per caratterizzare le proprietà di risonanza del sito.

Per le sole classi A e B, si introducono due sottoclassi in base a due tipi di curva:

Tipo 1: La curva H/V presenta almeno un picco stabile e chiaro secondo i criteri proposti nelle linee guida del progetto SESAME (SESAME Team, 2004). Dato un picco di frequenza media f_0 , cui corrisponde un valore medio dei rapporti spettrali $H/V = A_0$ e un fattore di variazione σ_A associato alla deviazione standard logaritmica (con σ_A pari a 10 elevato alla deviazione standard del logaritmo dei valori di picco di H/V nelle singole finestre), si può considerare stabile e chiaro un picco se sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni o anche se, al più, non è soddisfatta una sola di esse:

- $A_0 > 2$;
- discostandosi dalla frequenza f_0 , i valori di H/V decrescono con sufficiente rapidità per ridursi a meno di $A_0/2$ a frequenze che differiscono da f_0 per un fattore inferiore a 4 (cioè i valori di H/V si riducono a meno della metà sia ad una frequenza f_m non inferiore a $f_0/4$ che ad una frequenza f_M non superiore a $4f_0$: vedi Fig. 3.8);

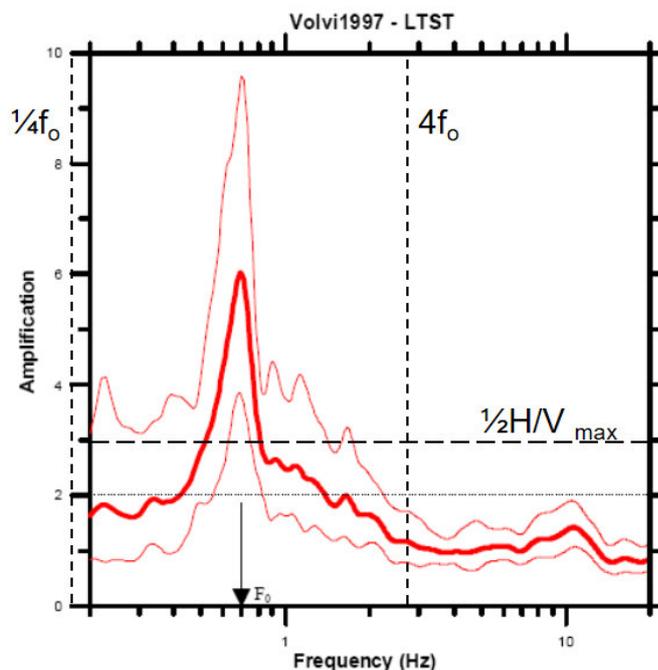


Fig. 3.8 - Verifica del criterio b) di chiarezza e stabilità del picco della curva H/V per l'identificazione di una curva di tipo 1. I valori di H/V (curva rossa spessa) devono scendere sotto la metà del valore di picco entro la banda di frequenza compresa tra $1/4$ di f_0 e 4 volte f_0 .

- considerando le singole finestre temporali la cui curva H/V è coerente con la curva media, cioè escludendo quelle per le quali l'H/V di picco differisce da A_0 per più di un fattore σ_A , le frequenze di picco in ciascuna di queste finestre non differiscono da f_0 per più del 5%;
- la deviazione standard σ_f della stima di f_0 non supera una soglia $\varepsilon(f_0)$ dipendente dal valore di f_0 secondo la tabella 1;
- il fattore di variazione σ_A associato alla deviazione standard logaritmica non supera una soglia $\theta(f_0)$ dipendente dal valore di f_0 secondo la tabella 1.

Tabella 1: Soglie $\varepsilon(f_0)$ dei valori di deviazione standard σ_f nella stima di f_0 (ε) e soglie $\theta(f_0)$ del fattore di variazione σ_A associato alla deviazione standard logaritmica, che definiscono le condizioni di stabilità e chiarezza del picco nella curva dei rapporti spettrali H/V, secondo le linee guida del Progetto SESAME (SESAME Team, 2004).

f_0 (Hz)	$\varepsilon(f_0)$	$\theta(f_0)$
< 0.2	0.25 f_0	3.0
0.2÷0.5	0.20 f_0	2.5
0.5÷1.0	0.15 f_0	2.0
1.0÷2.0	0.10 f_0	1.78
>2.0	0.05 f_0	1.58

Un picco di tipo 1 è indicativo della probabile presenza di significativi fenomeni di risonanza associati ad un elevato contrasto di impedenza tra i terreni di copertura (TC) ed il substrato sismico (SS).

Tipo 2: La curva H/V non soddisfa due o più delle condizioni per essere classificata come Tipo 1. In tal caso la curva H/V non fornisce evidenza di chiari fenomeni di risonanza associati a un marcato contrasto di impedenza TC/SS, oppure le condizioni di risonanza sono più complesse (presenza di più contrasti di impedenza a profondità poco diverse tra loro o effetti di risonanza associati a strutture di geometria complessa descrivibile con modelli 2D/3D). Questo implica che il risultato della misura non può essere interpretato semplicemente mediante l'equazione [1].

3.7 Presentazione dei risultati

I risultati della prova H/V devono essere corredati da una documentazione adeguata a consentire una valutazione indipendente della loro qualità ed affidabilità. In particolare, questa documentazione dovrebbe contenere le seguenti informazioni:

1. elementi per la identificazione del sito (codice identificativo, località, coordinate, mappa e foto);
2. descrizione dei parametri di acquisizione (caratteristiche della strumentazione impiegata, frequenza di campionamento, orario e durata della registrazione), nome e formato del file di dati;
3. caratteristiche litologiche generali del sito (roccia lapidea, sabbia, argilla, ecc.), della sua morfologia (piana, in pendio, ecc.) e delle caratteristiche della superficie di appoggio (terreno naturale, riporto, asfalto, ecc.);
4. descrizione sommaria delle condizioni meteorologiche durante la misura (vento, pioggia);
5. potenziali sorgenti di disturbo naturali (corsi d'acqua, alberi) o artificiali (strade, ponti, lavori stradali, fabbriche, ecc.);
6. grafico della curva H/V con deviazione standard in tutto l'intervallo di frequenze analizzato;
7. grafico degli spettri delle singole componenti del moto (X, Y, Z) nello stesso intervallo di frequenze;
8. specifica delle frequenze dei picchi H/V significativi fino a un numero massimo di 3 e della deviazione standard stimata per la frequenza del picco, o specifica dell'assenza di picchi significativi;
9. classificazione di qualità e tipo della misura secondo i criteri esposti nella sezione 3.6, anche nel caso di assenza di picchi significativi.

In allegato è riportato un modello di scheda da compilare per ciascuna misura dei rapporti H/V, in cui si possono riportare sinteticamente le informazioni e i dati summenzionati. Le caratteristiche delle frequenze di risonanza identificate, vanno riassunte in una tabella, denominandole col la sigla FX, con x che va da 0 a n massimo di 2, in ordine di frequenza crescente. Vanno inoltre riportate le

caratteristiche della frequenza di risonanza più rappresentativa tra quelle identificate, denominata Fr. Se sono state riconosciute più frequenze di risonanza significative, si assumerà come Fr quella di ampiezza maggiore tra le frequenze che rientrano nella banda di frequenza di interesse ingegneristico (0.9 – 10 Hz).

I risultati delle misure devono anche essere sintetizzati in una carta delle frequenze di risonanza utilizzando come base di rappresentazione la stessa carta topografica utilizzata per la redazione della carta delle MOPS. Per ogni sito di misura andrà riportato un simbolo per ogni frequenza di risonanza significativa identificata, usando un colore diversificato per rappresentare la frequenza di risonanza e avente dimensioni proporzionali all'ampiezza del picco. Il valore della frequenza di risonanza di riferimento (Fr) va sovrappreso al simbolo grafico (Fig. 3.9). Il simbolismo adottato per rappresentare le diverse caratteristiche dei picchi di rapporti H/V va illustrato in una legenda. In assenza di frequenze di picco significative (curva H/V piatta) si riporterà un circoletto bianco o grigio di dimensione fissa. Nel caso in cui misure ripetute hanno individuato una direzionalità significativa (rapporto tra massimo e minimo direzionale di H/V > 1.5 alla frequenza di picco) e sistematica (differenze < 35° tra gli azimut delle direzioni di massimo rilevate in misure diverse), correlata con elementi strutturali o morfologici locali (approssimativamente parallela o perpendicolare a direzioni di faglie, fratture, assi di allungamento di rilievi topografici, direzioni di scivolamento di frane) è possibile rappresentare la direzionalità mediante una punta di freccia orientata nella direzione del massimo. A titolo di esempio del simbolismo utilizzabile, in Fig. 3.10 si riporta una rappresentazione delle caratteristiche di picchi dei rapporti H/V sovrapposta ad una immagine Google Earth. In presenza di misure ripetute per lo stesso sito, si riporteranno i valori medi delle caratteristiche rilevate per i picchi di H/V nelle diverse misure.

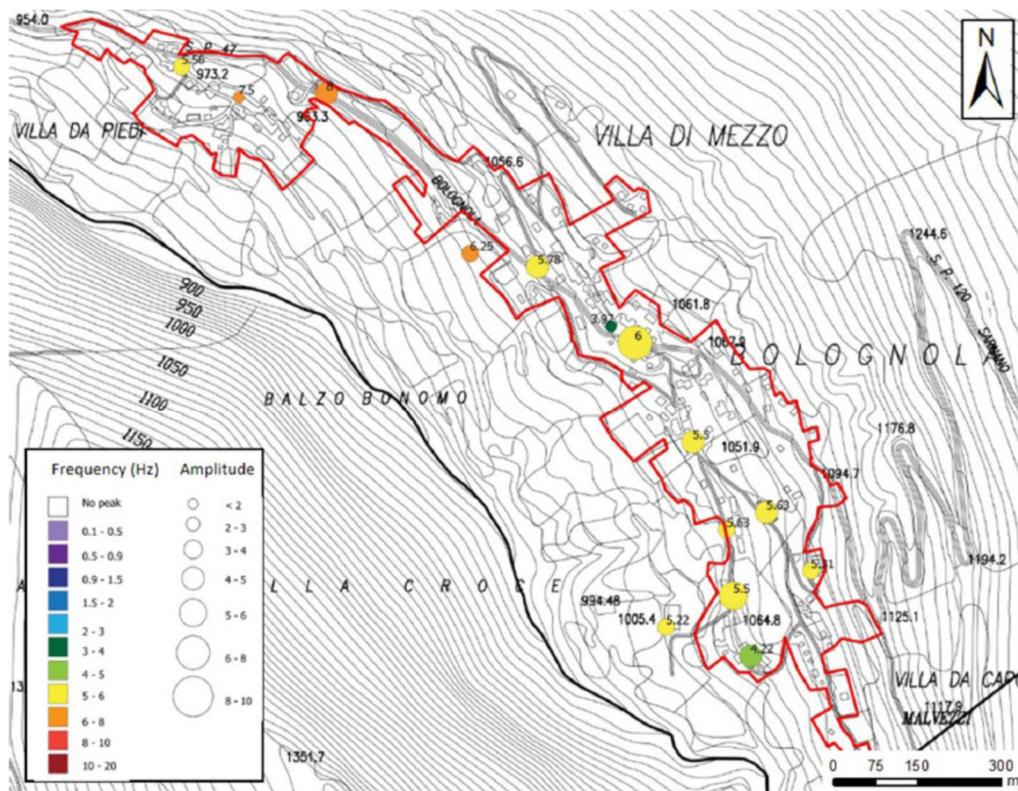


Fig. 3.9 - Esempio di carta delle frequenze ricavata da misure di rumore sismico ambientale (da Caielli et al., 2020).

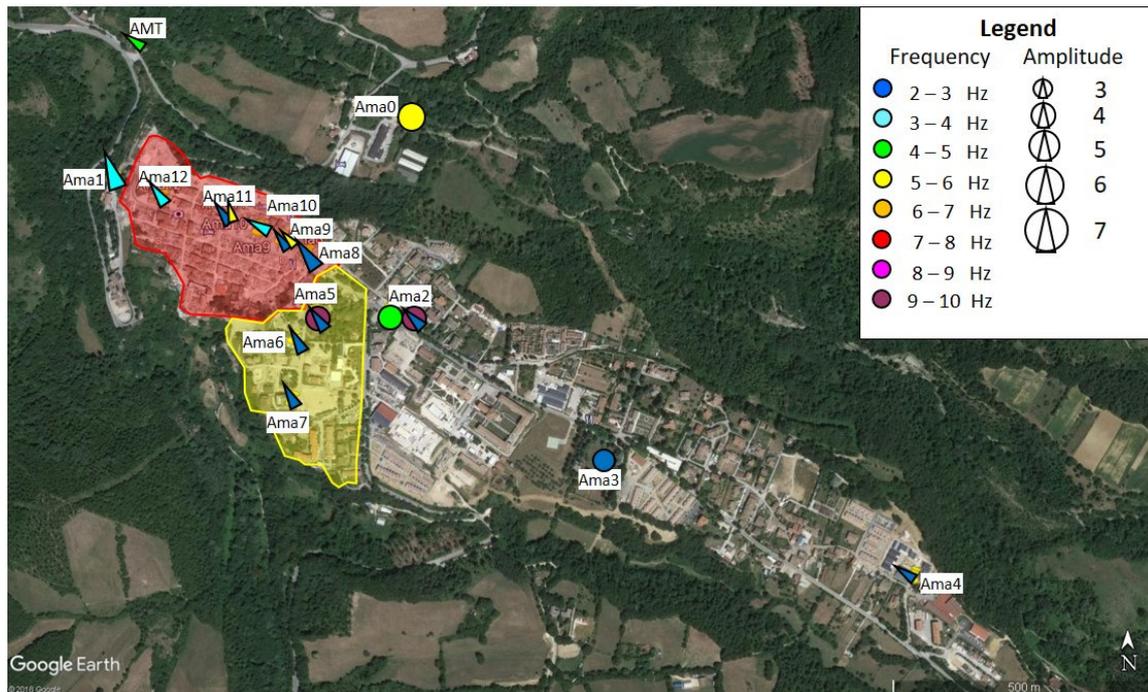


Fig. 3.10 - Esempio di simbolismo rappresentativo delle caratteristiche di frequenza, ampiezza e direzione dei picchi dei rapporti H/V. Le punte di freccia e i cerchi indicano rispettivamente picchi di H/V con o senza un chiaro e sistematico carattere di direzionalità. In una carta delle frequenze di risonanza questo simbolismo va comunque proiettato su una base topografica uguale a quella usata per la carta delle MOPS.



Foglio di misura HVSR

Codice di sito _____	Data _____	Sistema coordinate _____
Latitudine _____	Longitudine _____	Quota _____
Località _____		
Indicazioni sul Sito: _____		
(frazione, via, proprietario, telefono e altri riferimenti per la sua individuazione)		
COLLOCAZIONE		
<input type="checkbox"/> Città_via_principale	<input type="checkbox"/> Città_via_secondaria	<input type="checkbox"/> Città_cortile
<input type="checkbox"/> Città_parco	<input type="checkbox"/> Strada_principale	<input type="checkbox"/> Strada_secondaria
<input type="checkbox"/> Cunicolo	<input type="checkbox"/> Galleria	<input type="checkbox"/> Aperta Campagna
altro/commento: _____		
Mappa	Foto	

PARAMETRI DI ACQUISIZIONE		
Sismometro _____	Frequenza sensore _____	Acquisitore _____
Campioni/secondo _____	Sensibilità _____	Range dinamico _____
Orientazione _____	Orario inizio _____	Durata (sec) _____
Nome File _____	Formato _____	

CARATTERISTICHE LITOLOGICHE IN AFFIORAMENTO			
<input type="checkbox"/> Roccia Lapidea	<input type="checkbox"/> Roccia scistosa	<input type="checkbox"/> Granulare cementata	<input type="checkbox"/> Conglomerato
<input type="checkbox"/> Argille	<input type="checkbox"/> Limi	<input type="checkbox"/> Sabbie	<input type="checkbox"/> Ghiaie
<input type="checkbox"/> altro/commento: _____			

Foglio di misura HVSR

CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

- Superficie piana Pendio Sommità rilievo Terrazzo Frana Conoide
 altro/commento: _____

SUPERFICIE DI APPOGGIO

- Roccia Sabbia Argilla Erba
 Terreno_bagnato Terreno_secco Riporto Sterrato
 Asfalto Cemento Pavimentazione Marciapiede

Modalità Accoppiamento Sismometro Terreno: _____

(appoggiato, interrato)

CONDIZIONI ATMOSFERICHE:

vento forte debole assente

pioggia_ forte debole assente

altro/commento _____

POTENZIALI SORGENTI DI DISTURBO IN VICINANZA

- Fiume Canale Fognature Alberi
 Ponti Viadotti Gallerie Lavori_stradali
 Fabbrica Cantiere

Edifici nessuno sparsi concentrati

Edificio più vicino: numero piani _____ distanza _____

Strutture sotterranee: _____

Auto nessuna poche molte

Mezzi pesanti nessuno pochi molti

Pedoni nessuno pochi molti

Altre sorgenti di rumore: _____



Foglio di misura HVSR

Curva media H/V

Spettri delle singole componenti

Foglio di misura HVSR

Spetrogramma delle variazioni dei rapporti H/V durante la registrazione

Diagramma delle variazioni direzionali di H/V

Frequenze di picco significative identificate

	Frequenza (°)	σ_f	Ampiezza	σ_A	Direzionalità (*)	Classe di qualità
F0						
F1						
F2						
Fr						

Osservazioni: _____

 (motivazioni della attribuzione della classe di qualità)

° Riportare “nessuna”, in mancanza di picchi significativi.

* Se presente, riportare l’azimuth della direzione del massimo, altrimenti riportare “assente”

Bibliografia

Albarello, D. & Castellaro, S., 2011: *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. *Ingegneria Sismica*, XXVIII (2), 32-62.

Caielli, G., de Franco, R., Di Fiore, V., Albarello, D., Catalano, S., Pergalani, F., Cavuoto, G., Cercato, M., Compagnoni, M., Facciorusso, J., Famiani, D., Ferri, F., Imposa, S., Martini, G., Paciello, A., Paolucci, E., Passeri, F., Piscitelli, S., Puzzilli, L.M. & Vassallo, M., 2020: *Extensive surface geophysical prospecting for seismic microzonation*. *Bull. Earthq. Eng.*, <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00866-4>.

Gruppo di lavoro MS, 2008. *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.

Konno, K. & Ohmachi, T., 1998: *Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor*. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88 (1), 228-241.

SESAME Team, 2004: *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations*. SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12, 62 pp, <ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/SOFTWARE/SESAME/USER-GUIDELINES/SESAME-HV-User-Guidelines.pdf>.

4. PROTOCOLLO PER L'ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE DI EMERGENZA

Introduzione: la Condizione Limite di Emergenza

Le **Condizioni Limite per gli insediamenti urbani** rappresentano le soglie o i livelli di danneggiamento fisico e funzionale al raggiungimento dei quali, in occasione di un sisma, l'insediamento, a causa del danneggiamento dei diversi sistemi che lo compongono, subisce modificazioni significative delle proprie funzionalità, progressivamente crescenti, tali da comprometterne il mantenimento.

Nell'ottica di un'analogia tra edificio e città, le Condizioni Limite rappresentano gli “stati limite” alla scala dell'insediamento urbano e corrispondono a livelli crescenti di perdita di funzionalità dei suoi sistemi componenti.

Si definiscono vari livelli di Condizione Limite, di seguito riportati (Figura 1):

CLO (Condizione Limite di Operatività), sono compromesse le funzioni residenziali;

CLD (Condizione Limite di Danno), sono danneggiate le funzioni urbane ordinarie;

CLV (Condizione Limite di salvaguardia della Vita), sono interrotte le funzioni urbane principali;

CLC (Condizione Limite di prevenzione del Collasso), sono interrotte le funzioni strategiche per la ripresa;

CLE (Condizione Limite per l'Emergenza), sono interrotte le funzioni strategiche per la gestione dell'emergenza.

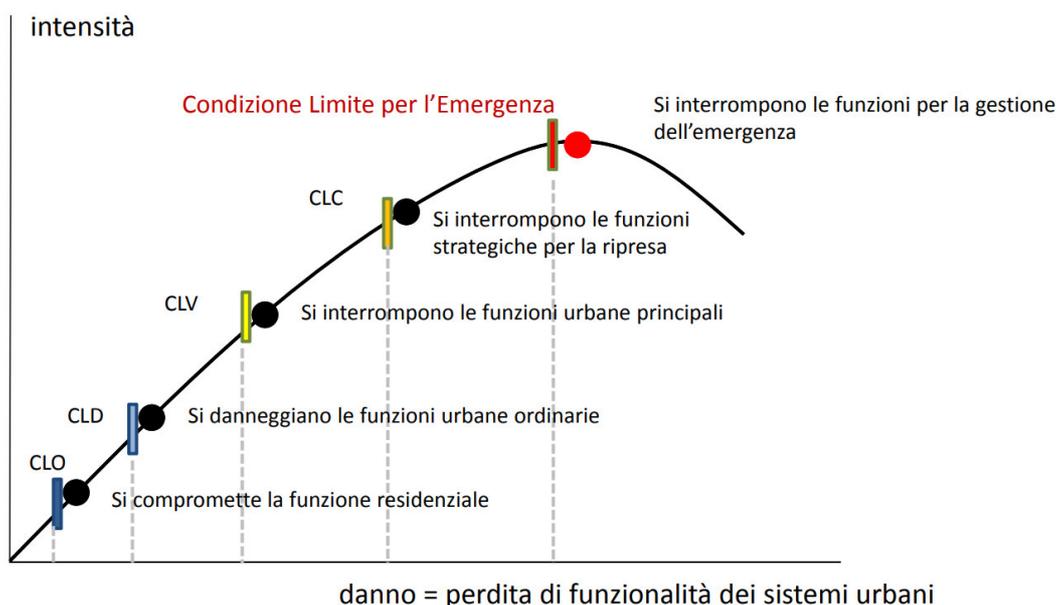


Figura 1. Condizioni limite come soglie di progressiva perdita di funzionalità dei sistemi urbani in un insediamento (Fazio & Parotto 2013).

In particolare, le funzioni/prestazioni dell'insediamento urbano da assicurare per le varie Condizioni Limite sono riportate in Figura 2.

condizione limite per l'insediamento	funzioni strategiche per l'emergenza	funzioni urbane strategiche per la ripresa	funzioni urbane principali e ordinarie	residenza
Condizione limite di operatività per l'insediamento (CLO)	mantenimento	mantenimento	mantenimento (ammesse perdite locali non rilevanti a livello urbano)	mantenimento (ammesse perdite locali non rilevanti a livello urbano)
Condizione limite di danno per l'insediamento (CLD)	mantenimento	mantenimento	limitazione temporanea o marginale	limitazione temporanea
Condizione limite di salvaguardia della vita dell'insediamento (CLV)	mantenimento	mantenimento	limitazione temporanea o marginale	limitazione parziale
Condizione limite di prevenzione del collasso dell'insediamento (CLC)	mantenimento	limitazione temporanea o localizzata	limitazione parziale	interruzione sensibile e a medio termine
Condizione limite per l'emergenza (CLE)	mantenimento maggior parte	interruzione sensibile	interruzione sensibile e a medio termine	interruzione a lungo termine

Figura 2. Prestazioni da assicurare nelle diverse condizioni limite (Fazio & Parotto 2013).

In affiancamento agli studi di microzonazione di 1° livello, nell'ambito del territorio nazionale è richiesta l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) per la specifica area di indagine. L'analisi della CLE a scala di insediamento urbano, introdotta con i finanziamenti della seconda annualità (OPCM 4007/2012), deve fornire un primo strumento di pianificazione finalizzato all'integrazione degli interventi sul territorio per la mitigazione del rischio sismico a scala comunale e rappresenta un'attività di verifica dei sistemi di gestione dell'emergenza, intesi come insiemi di elementi fisici (edifici strategici, aree di emergenza, infrastrutture di connessione e accessibilità). Secondo l'OPCM 4007/2012, **la CLE corrisponde a quella condizione per cui a seguito di un evento sismico, pur in concomitanza con il verificarsi di danni fisici e funzionali tali da condurre all'interruzione delle quasi totalità delle funzioni urbane presenti, compresa la residenza, l'insediamento urbano conserva comunque:**

- **la funzionalità/operatività della maggior parte delle funzioni strategiche per l'emergenza**
- **la connessione tra tali funzioni**
- **l'accessibilità rispetto al contesto territoriale.**

In tal senso, la CLE si configura come una verifica a posteriori del Piano di Emergenza comunale ed è orientata, in fase di successiva pianificazione urbanistica, ad una valutazione sui possibili interventi da effettuare per diminuire la vulnerabilità complessiva e rafforzare il mantenimento di funzioni e funzionalità urbane.

L'analisi della CLE viene condotta in concomitanza o a seguito degli studi di MS, utilizzando la modulistica predisposta dalla Commissione Tecnica di cui all'articolo 5 commi 7 e 8 dell'O.P.C.M. 3907/2010, e richiede il rispetto di modalità di rilevamento ed archiviazione secondo specifiche procedure (cfr. *Manuale per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza dell'insediamento urbano – versione 1.1* (<https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/download/category/33-manuale-per-l-analisi-della-condizione-lite-per-l-emergenza-cle-dell-insediamento-urbano>) e *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Analisi della CLE - versione 3.1* (<https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/download/download/25-standardcle-31/70-standardcle3-1>)). Il presente protocollo rappresenta una sintesi delle procedure e degli standards anzidetti finalizzata a schematizzare il percorso metodologico da seguire nella esecuzione dell'analisi della CLE, per cui si rimanda ai documenti di cui sopra per tutti gli approfondimenti necessari.

Per l'analisi della CLE di un insediamento è indispensabile identificare (Figura 3):

- Le strutture finalizzate alla gestione dell'emergenza
- Il sistema di interconnessione tra tali strutture e il sistema di accessibilità rispetto al contesto territoriale.

Per l'acquisizione delle informazioni minime necessarie alla definizione della CLE, sono state predisposte 5 Schede specifiche di rilevamento, approvate dalla Commissione Tecnica ed emanate con decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile. Un apposito software (SoftCLE) consente le attività di inserimento ed archiviazione dati. Le schede verificano il sistema di gestione dell'emergenza sulla base dell'identificazione di manufatti con ruoli di:

- Espletamento di funzioni di gestione (funzioni strategiche)
- Accessibilità generale al sistema fisico dove si espletano tali funzioni.

La compilazione delle schede è dedicata soprattutto alle caratteristiche fisiche e di uso dei manufatti, le relazioni nell'insediamento considerato ed i fattori principali di criticità potenziale che possono influire sulle prestazioni. Le schede rappresentano un primo livello conoscitivo (livello 1) del sistema, con informazioni di tipo prevalentemente qualitativo, e raccolgono informazioni generali, di vulnerabilità e dati relativi al rapporto con la morfologia del terreno e con la microzonazione sismica.

L'analisi della CLE deve essere intesa come strumento di “verifica” di alcuni elementi fisici del sistema di gestione dell'emergenza già individuato nel piano di protezione civile e non può essere sostitutiva del piano stesso. In quest'ottica l'esecuzione dell'analisi della CLE ed il relativo recepimento in termini urbanistici sono fasi di un iter virtuoso per le attività di protezione civile. Nei casi in cui non sia disponibile un piano di protezione civile, deve essere avviata dall'Amministrazione comunale una contestuale attività di pianificazione tenendo conto dei molteplici fattori che condizionano un simile processo pianificatorio.



Figura 3. Identificazione del sistema di gestione dell'emergenza (da Bramerini 2014).

La valutazione del sistema di gestione dell'emergenza, conseguente all'analisi della CLE, consente di esprimere un giudizio sul confronto tra lo stato attuale e le prestazioni minime richieste al sistema nel suo complesso. La valutazione della distanza tra la condizione rilevata del sistema di emergenza e la condizione di progetto prevista con il piano di emergenza comunale rappresenta l'obiettivo finale dell'analisi.

Istruzioni generali per la compilazione delle schede

L'analisi della CLE comporta:

- l'individuazione degli edifici e delle aree che garantiscono le funzioni strategiche per l'emergenza;
- l'individuazione delle infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale, degli edifici e delle aree di cui al punto a) e gli eventuali elementi critici;
- l'individuazione degli aggregati strutturali e delle singole unità strutturali che possono interferire con le infrastrutture di accessibilità e di connessione con il contesto territoriale (articolo 18, O.P.C.M. 4007/2012).

A tal fine sono stati predisposti degli appositi standard di archiviazione dati, raccolti attraverso un'apposita modulistica (5 tipi di schede) e rappresentati cartograficamente (in formato shapefile).

Le 5 schede sono:

- ES, Edificio Strategico
- AE, Area di Emergenza
- AC, Infrastruttura Accessibilità/Connessione
- AS, Aggregato Strutturale
- US, Unità Strutturale.

A ciascuna sigla è stato apposto il numero 1 come pedice per indicare che è il minimo livello conoscitivo (livello conoscitivo 1).

L'analisi viene condotta in concomitanza agli studi di microzonazione sismica e perciò a livello comunale, anche se sarebbe ottimale l'uso a livello intercomunale.

La documentazione di partenza

Per avviare l'analisi è necessario disporre della seguente documentazione:

1. Carta Tecnica Regionale (CTR) (o altra carta tecnica) in scala almeno 1:10.000; in formato digitale, vettoriale.
2. Piano di emergenza, o di protezione civile, o altri piani di individuazione degli edifici strategici (ad esempio le schede di sintesi di livello O - LV0 - di cui all'O.P.C.M. 3274/2003 e Circolare DPC n. 31471 del 21 aprile 2010) e delle aree di emergenza.
3. Eventuali schede già compilate sugli edifici strategici e sulle aree di emergenza (limitatamente agli elementi che faranno parte dell'analisi della CLE).
4. Eventuali schede già compilate sulla vulnerabilità degli edifici (limitatamente a quelli che faranno parte dell'analisi della CLE) (per esempio le schede di sintesi delle verifiche sismiche - LV1 e LV2 - in attuazione dell'O.P.C.M. 3274/2003 e DM 14/01/2008).

È bene avviare l'attività avendo preliminarmente una CTR sulla quale riportare gli identificativi di edifici, aree e infrastrutture. È preferibile che tali identificativi provengano dalla CTR stessa, se possibile. Se non è presente l'identificativo sulla CTR, sarà necessario attribuire singoli identificativi numerici agli elementi che vengono individuati durante l'analisi della CLE, che ovviamente non possono avere duplicati.

A conclusione dell'analisi verranno prodotte delle schede (5 tipologie), anche informatizzate, e delle cartografie informatizzate (5 shapefile).

La procedura per l'analisi della CLE

La procedura per l'analisi della CLE può essere così sintetizzata:

1. A partire dal Piano di protezione civile (di emergenza o altro piano previsto a livello locale), si individuano sulla mappa (CTR) le Funzioni Strategiche ritenute essenziali per la CLE e gli edifici dove sono svolte (quindi non tutti gli edifici strategici dell'insediamento urbano). Si ricorda che la CLE non è uno strumento di progetto finalizzato alla individuazione ex-novo degli edifici necessari alla gestione dell'emergenza.
2. Si attribuisce un identificativo a ciascuna Funzione strategica (un numero sequenziale a partire da 1) senza tener conto del numero degli edifici a servizio della Funzione Strategica.

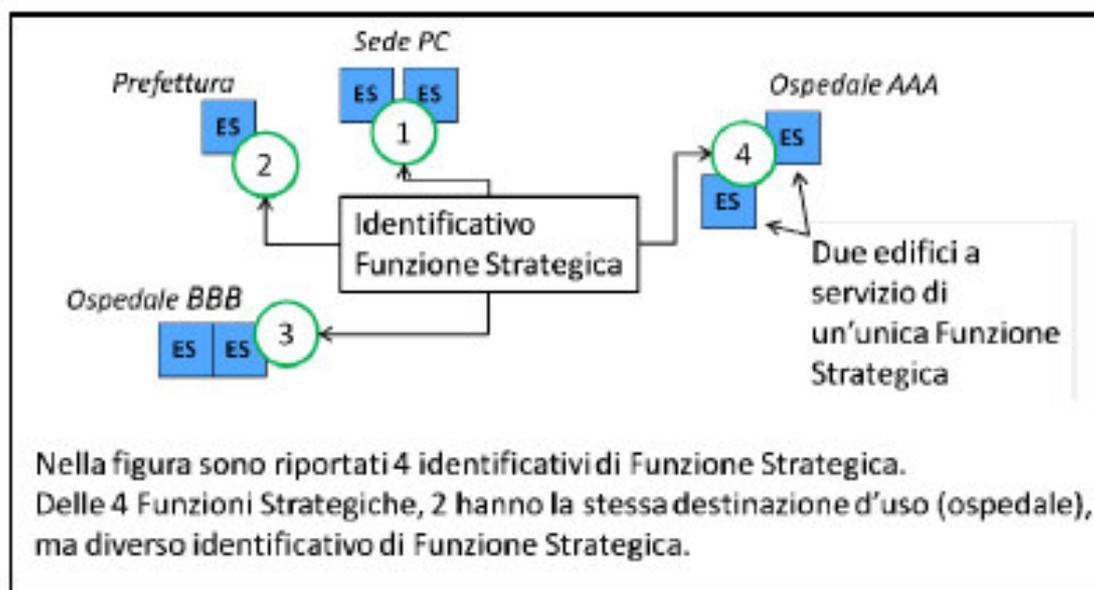


Figura 4. Identificativi di Funzioni Strategiche.

3. Si individuano gli eventuali Aggregati Strutturali di appartenenza degli Edifici Strategici individuati al punto precedente.
4. Si individuano le Aree di Emergenza limitatamente a quelle di ammassamento e di ricovero per la popolazione (vedi Circolare DPC n. 2/DPC/S.G.C./94 e normative regionali). Anche in questo caso dovranno essere desunte da Piani di emergenza preesistenti.
5. Si individuano le infrastrutture di Connessione fra Edifici Strategici e Aree di Emergenza. Anche in questo caso le informazioni dovrebbero essere desunte da Piani preesistenti. Nel caso non fossero state individuate, si rende necessaria la loro individuazione. Si rammenta che tali strade dovranno limitarsi allo stretto necessario per garantire il collegamento fra gli elementi suddetti, in termini di percorribilità dei veicoli a servizio di edifici e aree in relazione alle funzioni che vi si svolgono. È a discrezione di coloro che hanno definito il Piano di emergenza il livello di eventuale ridondanza previsto.
6. Si individuano le infrastrutture stradali che garantiscono l'Accessibilità all'insieme degli elementi sopra descritti con il territorio circostante. Anche in questo caso potrebbero non essere state individuate nel Piano e, pertanto, nell'eventuale individuazione ex-novo si dovrà tener conto che tali strade dovranno sempre arrivare fino al limite comunale, includendo la viabilità principale di interconnessione con altri Comuni.
7. Si individuano gli Aggregati Strutturali, o singoli manufatti isolati, interferenti con le infrastrutture stradali o le Aree di Emergenza, che ricadono nella condizione $H > L$ o, per le aree, $H > d$, ossia altezza dell'aggregato (H) maggiore della distanza tra l'aggregato e il limite opposto della strada (L) o del limite più vicino dell'area (d).
8. Si riportano sulla mappa gli identificativi di Aggregato Strutturale, di Area di Emergenza, di infrastrutture di Accessibilità/Connessione (Figura 5). Tali identificativi dovranno provenire dalla CTR. In alternativa, dovranno essere attribuiti ex-novo almeno a tutte le entità che fanno parte dell'analisi della CLE.

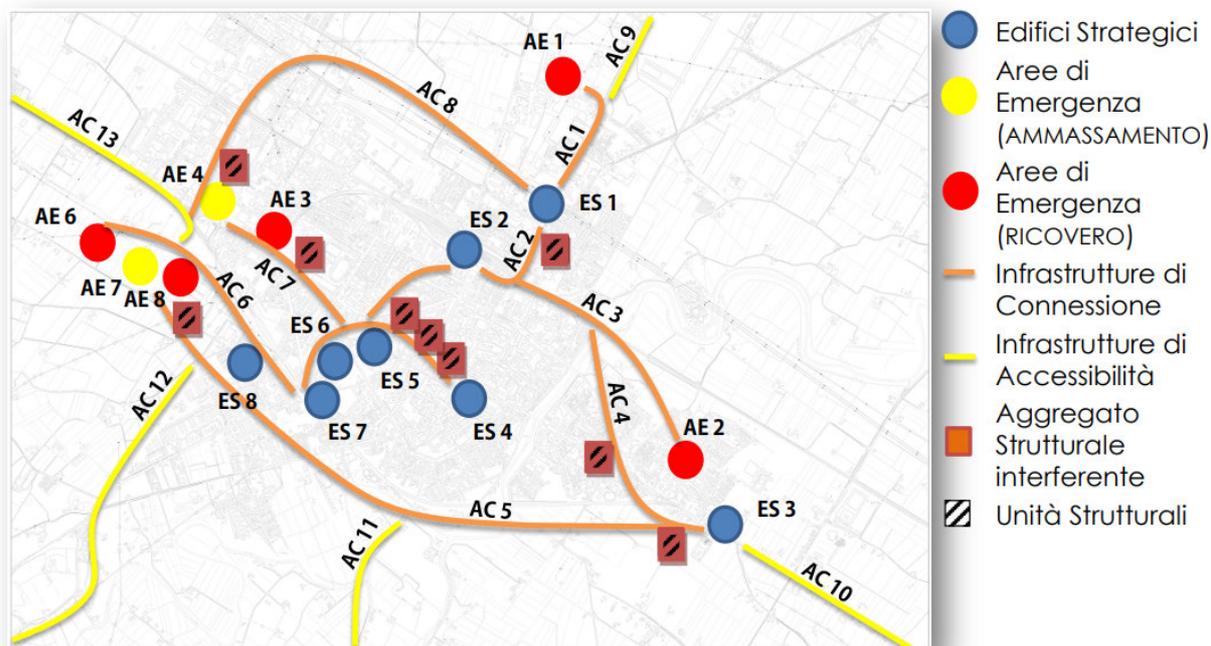


Figura 5. Identificazione degli elementi della CLE (da Bramerini 2014).

9. La compilazione delle schede può iniziare a tavolino o direttamente sul campo. Si suggerisce, per quanto possibile, il seguente ordine nella compilazione delle schede (Figura 6):

- a. Iniziare con gli Edifici Strategici (ES). Se appartengono ad Aggregati Strutturali è necessario compilare prima la scheda AS, quindi proseguire con la scheda ES e con le schede US per tutte le Unità Strutturali che costituiscono l'AS;
- b. Compilare le schede AE (Aree di Emergenza);
- c. Compilare le schede AC (Infrastrutture di Connessione/Accessibilità);
- d. Compilare le schede AS degli aggregati strutturali interferenti;
- e. Compilare le schede US di manufatti isolati e interferenti le infrastrutture di Connessione/Accessibilità e le Aree di Emergenza.

Eventualmente si conclude la compilazione delle schede a tavolino per le parti in cui è necessaria la consultazione di altri documenti (per esempio la microzonazione sismica, PAI, ecc).

10. Si informatizzano i dati delle schede e i dati cartografici.

11. Si produce la Carta degli elementi per l'analisi della CLE e relativi stralci (Figura 7).

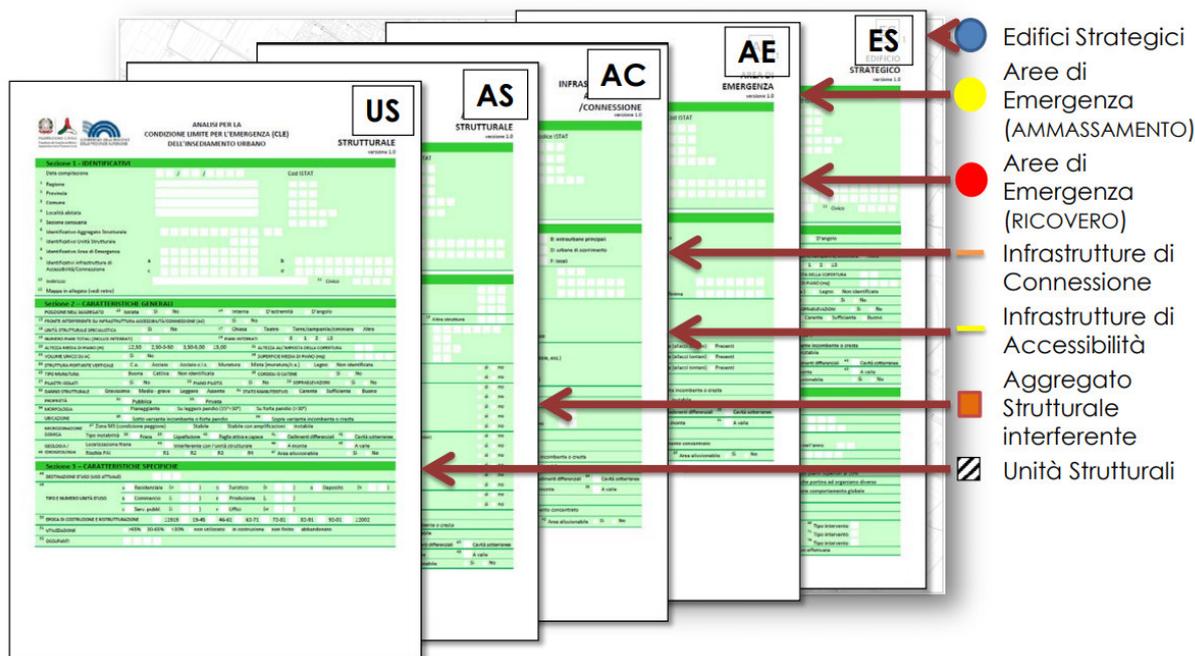


Figura 6. Schede di compilazione e relativi contenuti (da Bramerini 2014).

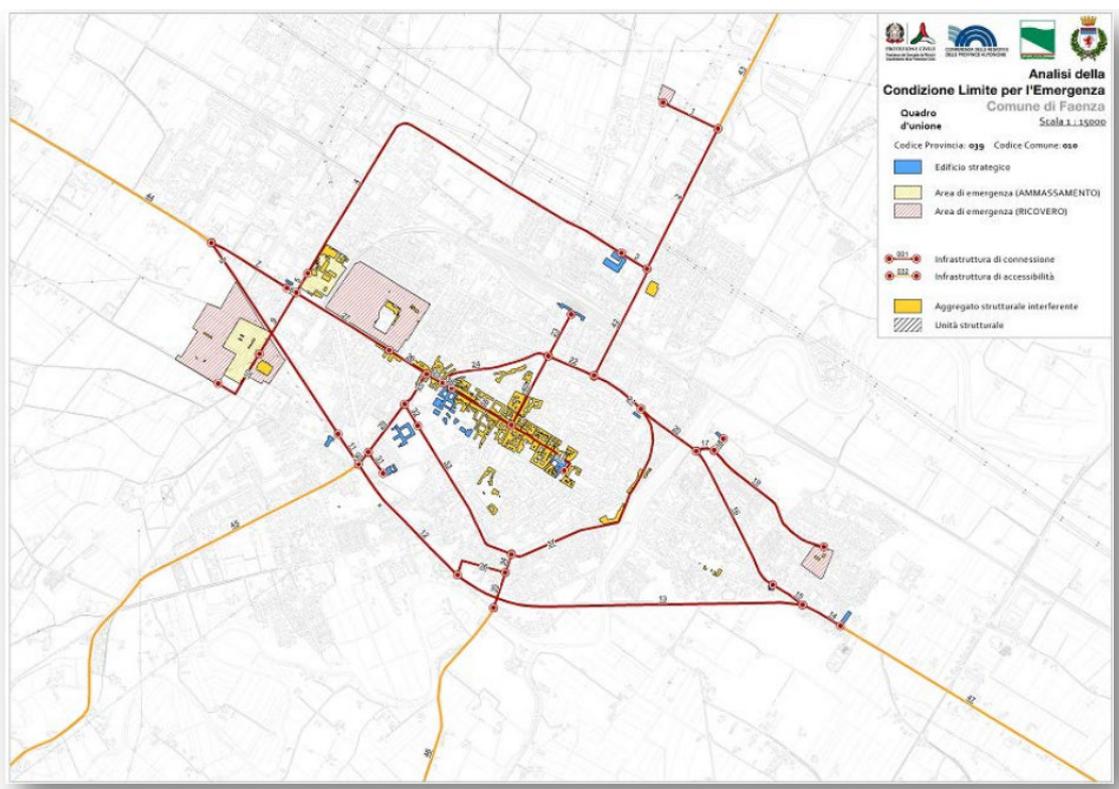


Figura 7. Esempio di carta degli elementi per la CLE (da Bramerini 2014).

In sintesi, gli elaborati da predisporre per l'analisi della CLE sono:

- La Carta degli elementi per l'analisi della CLE
- Dati cartografici archiviati in 5 shapefile
- Dati alfanumerici archiviati in un database composto da 6 schede.

Il software di inserimento dati

È stato predisposto un software di inserimento dati (SoftCLE) in libera distribuzione, che ha maschere di inserimento dati identiche alle schede e ne permette la stampa (Figura 8). La struttura di archiviazione dei dati garantisce anche il collegamento con la struttura di archiviazione delle basi dati cartografiche. Il software agevola, inoltre, l'inserimento dei dati con alcuni automatismi (per esempio, indicando il Comune, viene inserito automaticamente il codice Istat). Il software è scaricabile dal sito: <https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/download/category/25-standardcle-31>.

- *Manuale e Istruzioni*
- *SoftCLE*

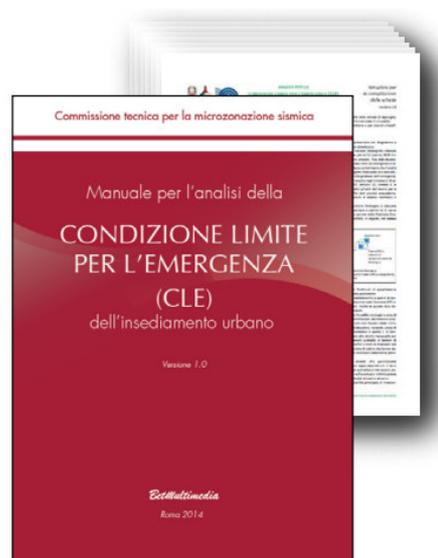


Figura 8. Manuale di riferimento per l'analisi CLE e visualizzazione del software di inserimento dati SoftCLE

COMPILAZIONE DELLE SCHEDE

Le schede costituiscono una semplice anagrafica degli elementi caratterizzanti lo stato di fatto delle singole componenti della CLE. Tutte le schede sono articolate in Sezioni che raccolgono le seguenti tipologie di dato:

1. Dati identificativi dell'elemento (Sezione 1)
2. Caratteristiche generali (Sezione 2): morfologiche, metriche, tecniche
3. Caratteristiche specifiche (Sezione 3): esposizione, uso, dati specifici.

In generale, le schede richiedono dati facilmente rilevabili a vista. Nel caso delle Unità Strutturali (US), non è richiesto il sopralluogo all'interno delle stesse, a meno che non si tratti di Edifici Strategici (ES). Alcuni dati richiesti possono essere inseriti a tavolino, prima o dopo la campagna di sopralluoghi (es. MS, PAI, ecc.). La compilazione delle schede può iniziare una volta individuati su mappa i vari elementi che la caratterizzano, ed attribuiti a questi degli identificativi univoci.

Di seguito, vengono riportate descrizioni di maggiore dettaglio delle singole schede.

Scheda Indice

La scheda riporta le informazioni generali e il numero delle schede allegate.

1-3 Data di compilazione, Regione, Provincia, Comune, con i relativi codici Istat.

4-7 Soggetto realizzatore, Ufficio/Unità produttiva, Responsabile del procedimento, Firma.

Nel diagramma a blocchi vanno riportate le quantità delle schede compilate.

Scheda ES₁ (Edifici Strategici, livello conoscitivo 1)

La scheda è riferita ad un edificio con funzioni strategiche in caso di emergenza, ai sensi del Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21/10/2003, che si differenzia da un'unità strutturale ordinaria, che invece non presenta funzioni strategiche (Figura 9).

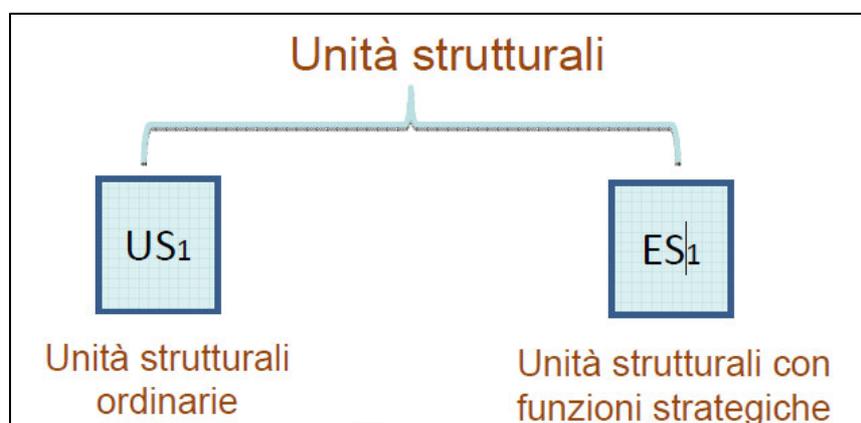


Figura 9. Distinzione tra unità strutturale con funzioni strategiche ed unità strutturale ordinaria.

La scheda va compilata per un intero edificio, intendendo per edificio una Unità Strutturale “cielo terra”, individuabile per omogeneità delle caratteristiche strutturali e quindi distinguibile dagli edifici adiacenti per tali caratteristiche, nonché per differenza di altezza, piani sfalsati, ecc.

L'edificio, ossia l'Unità Strutturale con funzioni strategiche (ES), può far parte di un Aggregato Strutturale. In tal caso prima di compilare la scheda ES è necessario compilare la scheda AS. Pertanto, al momento della compilazione della scheda ES, il rilevatore dovrà essere in possesso:

1. della mappa (CTR) ove sono riportati gli identificativi degli AS;
2. della eventuale scheda AS compilata di cui l'ES fa parte;
3. dell'eventuale scheda di Edificio Strategico LV0 di cui alla Circolare del Dipartimento della protezione civile del 21 aprile 2010, n. 31471;
4. di eventuali schede di rilievo dei COM, DiCOMAC e CCS.

La procedura per la compilazione della scheda ES, che avviene prevalentemente sul campo, è riassumibile nel modo seguente (si veda anche la procedura per la compilazione della scheda AS):

1. Identificare l'ES trovando la corrispondenza sulla mappa.
2. Se l'ES ricade all'interno di un AS:
 - a. Riportare gli identificativi di Aggregato Strutturale (campo 6) e di Unità Strutturale (campo 7) già attribuiti nella mappa.
 - b. Compilare la scheda ES.
3. Se l'ES non ricade all'interno di un AS:
 - a. Compilare direttamente la scheda ES, riportando l'identificativo dell'Aggregato Strutturale rilevabile dalla mappa. Nel campo dell'identificativo Unità Strutturale verrà riportato 999.

L'Unità Strutturale con funzioni strategiche (ES) è identificata attraverso un identificativo di Aggregato Strutturale di appartenenza e un identificativo di Unità Strutturale. Qualora la funzione strategica sia espletata in più Unità Strutturali (ad esempio una Prefettura composta da più Unità Strutturali), dovrà essere compilata, per ciascuna, una diversa scheda ES.

Le informazioni sono generalmente acquisite richiedendo di segnare le caselle corrispondenti. In alcune sezioni le caselle quadrate indicano la possibilità di multi-scelta; viceversa le caselle tonde indicano la possibilità di una singola scelta. Dove sono presenti più caselle quadrate, si deve scrivere in stampatello, iniziando a scrivere il testo da sinistra. I numeri, invece, vanno incolonnati a destra. Informazioni specifiche richieste dalla scheda potranno essere fornite dall'Ufficio Tecnico Comunale.

La scheda presenta:

- una parte dedicata all'inserimento degli identificativi e delle caratteristiche generali comuni (desumibili anche dalle schede AeDES);
- una parte specifica strettamente legata all'uso ed all'esposizione;
- una parte dedicata alle caratteristiche specifiche sull'uso e sugli interventi attuati.

Scheda AE₁ (Aree di Emergenza, livello conoscitivo 1)

La scheda è divisa in 2 sezioni: nella prima sezione vengono riportate informazioni utili all'identificazione dell'Area di Emergenza e delle infrastrutture associate, nella seconda sono invece riportate alcune caratteristiche dimensionali, naturali e infrastrutturali (tipologia, elementi interferenti, dati di superficie, pavimentazione, infrastrutture di servizio).

Le informazioni sono generalmente acquisite richiedendo di segnare le caselle corrispondenti. In alcune sezioni le caselle quadrate indicano la possibilità di multi-scelta; viceversa le caselle tonde

indicano la possibilità di una singola scelta. Dove sono presenti più caselle quadrate, si deve scrivere in stampatello, iniziando a scrivere il testo da sinistra. I numeri, invece, vanno incolonnati a destra. La scheda va compilata tenendo conto delle caratteristiche medie valutate a vista, a meno di informazioni più precise fornite dall'Ufficio Tecnico Comunale, o contenute in altre schede precedentemente compilate (ad esempio AUS 1, DPC). L'area di emergenza è pre-individuata sulla base del Piano di emergenza comunale o provinciale o altro elaborato prodotto per fini di protezione civile/emergenza.

Nella scheda occorre distinguere tra:

- Area di ammassamento, ossia un luogo in zona sicura dove dovranno trovare sistemazione idonea i soccorritori e le risorse necessarie a garantire un razionale intervento nelle zone di emergenza.
- Area di ricovero, ossia un luogo, in zona sicura ed in vicinanza di risorse idriche, elettriche e fognarie, in cui vengono installati i primi insediamenti abitativi di emergenza per la popolazione evacuata.

Scheda AC₁ (Infrastrutture Accessibilità/Connessione, livello conoscitivo 1)

La scheda va compilata per le infrastrutture di accessibilità o connessione nell'ambito dell'Analisi della condizione limite per l'emergenza (CLE) dell'insediamento urbano.

Le informazioni sono generalmente acquisite richiedendo di segnare le caselle corrispondenti. In alcune sezioni le caselle quadrate indicano la possibilità di multi-scelta; viceversa, le caselle tonde indicano la possibilità di una singola scelta. Dove sono presenti più caselle quadrate, si deve scrivere in stampatello, iniziando a scrivere il testo da sinistra. I numeri, invece, vanno incolonnati a destra. La scheda va compilata tenendo conto delle caratteristiche medie valutate a vista, a meno di informazioni più precise fornite dall'Ufficio Tecnico Comunale.

Essa è composta da tre parti:

- Identificazione infrastruttura ed elementi interferenti;
- Caratteristiche generali dell'infrastruttura;
- Morfologia, geologia e dati relativi alla Microzonazione Sismica.

Per infrastruttura di connessione si intende la strada, o la sequenza di strade, di collegamento fra un edificio strategico, o un'area di emergenza, e un altro edificio strategico, o un'altra area di emergenza (collegamenti interni al sistema di gestione dell'emergenza).

Per infrastruttura di accessibilità si intende la strada, o la sequenza di strade, di collegamento fra il sistema di gestione dell'emergenza, costituito da edifici strategici, aree di emergenza e infrastrutture di connessione, e la viabilità principale esterna all'insediamento urbano fino al limite comunale.

Le eventuali parti di infrastrutture che, per garantire la continuità del sistema, ricadono nei comuni limitrofi, dovranno essere rilevate compilando schede AC con codici ISTAT del Comune in cui ricadono.

In corrispondenza dell'accesso principale di ciascun Edificio Strategico e di ciascuna Area di Emergenza deve essere individuato un "nodo" (al quale non corrisponde nessuna "entità geometrica" nel sistema cartografico informatizzato e nessuna scheda, trattandosi di un elemento grafico della linea stessa).

Occorre compilare una scheda per:

- Ciascuna infrastruttura che connette due elementi del sistema (per esempio un Edificio Strategico con un altro Edificio Strategico, un Edificio Strategico con un'Area di Emergenza o un'Area di Emergenza con un'Area di Emergenza);
- Ciascuna infrastruttura di accesso al sistema nel suo insieme dall'esterno.

Anche nel caso di intersezione di infrastrutture verrà creato un “nodo” in corrispondenza del punto di intersezione. Una scheda verrà compilata per ciascuna infrastruttura che connette tale nodo con un Edificio Strategico, o l’Area di Emergenza (Figura 10).

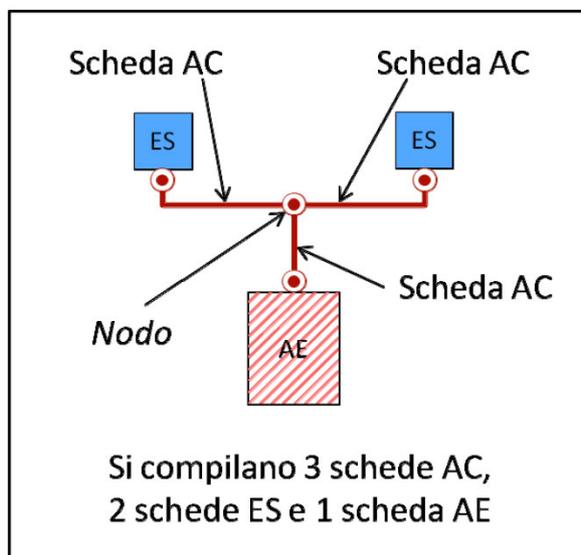


Figura 10. Esempio di schematizzazione delle infrastrutture e dei nodi.

Come per gli Edifici Strategici e le Aree di Emergenza, l’individuazione delle infrastrutture di Accessibilità e Connessione è desunta da eventuali piani di protezione civile o altri piani definiti a livello comunale o sovracomunale.

Le infrastrutture di Accessibilità e Connessione dovranno essere:

- quelle individuate come condizione minima indispensabile per garantire il transito per almeno i veicoli a motore per il trasporto di persone (classificate in una delle categorie da A a F del Codice della Strada, d.lgs. 285/1992, art. 2);
- quelle individuate come eventuale condizione minima di ridondanza.

I nodi non devono essere numerati.

Scheda AS₁ (Aggregato Strutturale, livello conoscitivo 1)

Questa scheda va compilata per un intero Aggregato Strutturale (AS). Per Aggregato Strutturale si intende un insieme non necessariamente omogeneo di edifici (Unità Strutturali), posti in sostanziale contiguità. La scheda AS è volta al riconoscimento dei principali elementi morfologici, costruttivi e strutturali di un aggregato. Essa si configura come strumento di sintesi delle singole unità strutturali in esso contenute (US/ES) ed evidenzia elementi morfologici e fattori di irregolarità strutturale derivanti dalla contiguità tra US differenti.

Le informazioni sono generalmente acquisite richiedendo di segnare le caselle corrispondenti. In alcune sezioni le caselle quadrate indicano la possibilità di multi-scelta; viceversa le caselle tonde indicano la possibilità di una singola scelta. Dove sono presenti più caselle quadrate, si deve scrivere in stampatello, iniziando a scrivere il testo da sinistra. I numeri, invece, vanno incolonnati a destra. La scheda va compilata tenendo conto delle caratteristiche medie valutate a vista, a meno di informazioni più precise fornite dall’Ufficio Tecnico Comunale. L’Aggregato è pre-individuato sulla

base della Carta Tecnica Regionale (CTR). In ogni caso l'osservazione sul campo può determinare anche una successiva suddivisione, o accorpamento motivato, del poligono.

La scheda AS va compilata quando:

- L'Aggregato Strutturale, indipendentemente dalla sua condizione di interferenza, contiene al suo interno almeno un'Unità Strutturale con funzione strategica (ES);
- L'Aggregato Strutturale è interferente sulla viabilità di Accesso/Connessione o su un'Area di Emergenza (Figura 11):

Nel caso di Unità Strutturale isolata o di un Edificio Strategico isolato la scheda AS non va compilata.

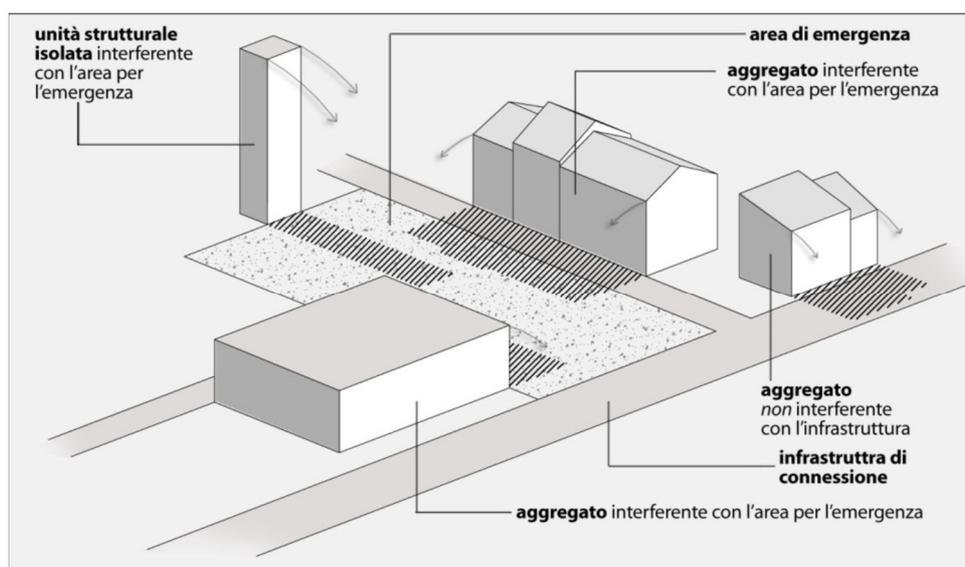


Figura 11. Esempi di aggregati strutturali ed unità strutturali e relativa interferenza con la CLE.

Prima di compilare la scheda US (per le Unità Strutturali che fanno parte di un Aggregato Strutturale) è sempre necessario compilare le schede AS. In tal modo saranno state risolte anche le eventuali incoerenze di identificazione degli AS (accorpamenti o suddivisioni non riportati nella mappa). Pertanto, al momento della compilazione della scheda US, il rilevatore dovrà essere in possesso:

1. della mappa (CTR) ove sono riportati gli identificativi degli AS;
2. della eventuale scheda AS compilata dell'Aggregato Strutturale di cui l'US fa parte.

La procedura per la compilazione della scheda AS, che deve avvenire sul campo, è riassumibile nel modo seguente:

1. Identificare l'AS trovando la corrispondenza sulla mappa e verificare la corretta delimitazione.

La delimitazione dell'AS è in generale definita da strade o spazi non costruiti. In molti casi, pertanto, l'aggregato è equivalente a quello che comunemente, dal punto di vista urbanistico, viene definito isolato. In presenza di elementi come archi di contrasto, passaggi coperti, ecc., che fungono da collegamento con gli aggregati adiacenti sarà compito del rilevatore valutare caso per caso tali elementi, in base alla loro estensione e funzione strutturale, così da stimare se il livello di collegamento conseguito tra gli aggregati sia tale da potersi considerare, a tutti gli effetti, un unico grande AS.

2. Attribuire gli identificativi su mappa, se non sono stati riportati quelli provenienti dalla CTR stessa, o se non ne sono stati generati di nuovi da parte di chi ha predisposto la stampa. Non vi devono essere ripetizioni nell'ambito dello stesso Comune.

3. Suddivisione dell'aggregato in più aggregati. Nei casi in cui si rilevasse discordanza fra mappa e rilevamento su campo (per esempio nella mappa è indicato come unico AS ciò che al momento del rilevamento è invece identificabile come 2 o più aggregati), occorre riportare la suddivisione in mappa ed aggiungere a destra dell'identificativo un numero sequenziale (01, 02, 03, ecc.), ossia un "sub-identificativo AS".
4. Accorpamento aggregati. In caso di accorpamento di 2 o più aggregati inizialmente individuati come aggregati separati in mappa, si considererà come codice unico quello di uno degli aggregati. In mappa verrà indicato l'identificativo da sopprimere.
5. Identificazione US. Se l'AS è costituito da più US procedere nel modo seguente:
 - a. Riportare sulla mappa le linee di divisione delle US (anche se sono Edifici Strategici) per tutto l'AS.
 - b. Attribuire gli identificativi alle US (anche se sono Edifici Strategici), a partire dal numero 1, in sequenza (1, 2, 3, ecc.), possibilmente iniziando dall'US posta a Nord-Est e proseguendo in senso antiorario.
6. Compilare la scheda AS.

Scheda US₁ (Unità Strutturali, livello conoscitivo 1)

La scheda si riferisce a singole unità strutturali ordinarie (non caratterizzate da funzioni strategiche) e va compilata per un intero edificio, intendendo per edificio una unità strutturale "cielo terra", individuabile per omogeneità delle caratteristiche strutturali e quindi distinguibile dagli edifici adiacenti per tali caratteristiche, nonché per differenza di altezza, piani sfalsati e così via.

Prima di compilare la scheda US è necessario compilare le schede AS. In tal modo saranno state risolte anche le eventuali incoerenze di identificazione degli AS (accorpamenti o suddivisioni non riportati nella mappa).

Pertanto al momento della compilazione della scheda US, il rilevatore dovrà essere in possesso:

1. della mappa (CTR) ove sono riportati gli identificativi degli AS, come corretti in fase di identificazione sul campo;
2. della eventuale scheda AS compilata dell'Aggregato Strutturale di cui l'US fa parte.

La procedura per la compilazione della scheda US, che deve avvenire sul campo, è riassumibile nel modo seguente (vedi procedura per la compilazione della scheda AS):

1. Identificare l'US trovando la corrispondenza sulla mappa.
2. Se l'US ricade all'interno di un AS:
 - a. Riportare gli identificativi di Aggregato Strutturale e di Unità Strutturale già attribuiti nella mappa allegata alla scheda AS negli appositi campi della scheda US.
 - b. Compilare la scheda US.
3. Se l'US non ricade all'interno di un AS:
 - a. Riportare l'identificativo dell'Aggregato strutturale rilevabile dalla mappa nell'apposito campo della scheda US e inserire il numero 999 nel campo identificativo dell'Unità strutturale.
 - b. Compilare la scheda US.

L'Unità Strutturale (US) è identificata attraverso un identificativo di Unità Strutturale e un identificativo di Aggregato Strutturale di appartenenza. Le informazioni sono generalmente acquisite richiedendo di segnare le caselle corrispondenti. In alcune sezioni le caselle quadrate indicano la possibilità di multi-scelta; viceversa le caselle tonde indicano la possibilità di una singola scelta. Dove sono presenti più caselle quadrate, si deve scrivere in stampatello, iniziando a scrivere il testo da sinistra. I numeri, invece, vanno incolonnati a destra.

La scheda va compilata tenendo conto delle caratteristiche medie valutate a vista. In questo caso non sono richieste informazioni che comportano l'accesso all'interno dell'edificio. Informazioni specifiche richieste dalla scheda potranno essere fornite dall'Ufficio Tecnico Comunale.

Ulteriori indicazioni sulle modalità di rilevamento possono essere desunte dal Manuale di compilazione della scheda Aedes sul sito Internet del Dipartimento della protezione civile:

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB5

RAPPRESENTAZIONE: LA CARTA DEGLI ELEMENTI DELLA CLE

La carta degli elementi per l'analisi della CLE individua, nell'ambito dell'insediamento urbano, il sistema di gestione dell'emergenza, composto da edifici e infrastrutture utili ad analizzare la Condizione Limite per l'Emergenza. Tale carta dovrà riportare, sulla base della Carta Tecnica Regionale (CTR) o altra Cartografia ufficiale regionale, tutti gli elementi a disposizione del soggetto realizzatore, raccolti durante la fase di analisi.

Dovrà essere prodotta una carta di inquadramento generale utilizzando una scala adeguata alla rappresentazione dell'intero insediamento urbano, possibilmente in scala 1:15.000 e comunque non inferiore a 1:20.000. In aggiunta dovranno essere predisposti appositi stralci in scala non inferiore a 1:2.000, che contengano tutte le aree e gli edifici per l'analisi della CLE, il cui posizionamento dovrà essere riportato nell'inquadramento generale.

Il sistema di coordinate di riferimento per tutta la cartografia da consegnare è WGS84UTM33N. E' opportuno verificare che i dati così prodotti si sovrappongano correttamente a mappe di base definite secondo lo stesso datum, come per esempio le Base Maps E.S.R.I., Open Street Maps, Google Maps (definite in WGS84 Web Mercator - Auxiliary Sphere) o ai servizi WMS nazionali e regionali che presentino stesso datum (WGS) e stessa proiezione (UTM).

Nella Figura 12 sono riportati i simboli per ciascun elemento del sistema di gestione dell'emergenza utile all'analisi della CLE. La legenda è composta da:

- Elemento grafico
- Identificativo specifico per ogni elemento
- Definizione dell'elemento

	Edificio strategico
	Area di emergenza (AMMASSAMENTO)
	Area di emergenza (RICOVERO)
	Area di emergenza (AMMASSAMENTO - RICOVERO)
	Area di emergenza (ATTESA)*
	Infrastruttura di connessione
	Infrastruttura di accessibilità
	Aggregato strutturale
	Unità strutturale interferente appartenente ad un AS
	Unità strutturale non interferente appartenente ad un AS
	Unità strutturale interferente isolata

Figura 12. Legenda di riferimento per la rappresentazione della carta della CLE.

Su ciascun elemento grafico viene riportato l'identificativo secondo il seguente schema:

Elemento grafico	Shapefile	Campi utilizzati ⁶
Edificio strategico	CL_ES	[Id_aggr]_[Id_unit]
Area di Emergenza	CL_AE	[Id_area]
Infrastruttura di Accessibilità/Connessione	CL_AC	[Id_infra]
Aggregato Strutturale	CL_AS	[Id_aggr]
Unità Strutturale	CL_US	[Id_aggr]_[Id_unit]

Per il layout della carta ed il cartiglio relativo si rimanda agli Standard di riferimento.

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

La Relazione illustrativa è un documento che accompagna gli elaborati cartografici richiesti per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza. La Relazione illustrativa potrà essere così articolata:

1. Introduzione
2. Dati di base
3. Criteri di selezione degli elementi del sistema di gestione dell'emergenza
4. Indicazioni sintetiche per il Comune
5. Elaborati cartografici.

Di seguito vengono fornite alcune indicazioni per tali paragrafi.

1. Introduzione

- Composizione del team di rilevamento, periodo temporale dell'incarico, ecc.

2. Dati di base

- Indicare quanti e quali dati sono stati utilizzati per l'analisi della CLE; segnalare eventuali carenze.

3. Criteri di selezione degli elementi del sistema di gestione dell'emergenza

- Descrivere i criteri con i quali sono stati selezionati gli elementi per l'analisi della CLE, in particolar modo Edifici Strategici, Aree di Emergenza e infrastrutture di Accessibilità/Connessione;
- Evidenziare eventuali compresenze di funzioni strategiche all'interno dello stesso Edificio Strategico;
- Segnalare eventuali soppressioni o inserimenti di ES e/o AE aggiuntivi e non indicati negli strumenti di pianificazione di emergenza; indicare le motivazioni di tali soppressioni/inserimenti.

4. Indicazioni sintetiche per il Comune

- Segnalare eventuali criticità emerse durante l'analisi;
- Eventualmente evidenziare possibili ricadute in termini di pianificazione comunale.

5. Elaborati cartografici

- Elenco degli elaborati prodotti.

ARCHIVIAZIONE

In questa sezione vengono definite le specifiche informatiche per la predisposizione della Carta degli elementi per l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza. Per la realizzazione di tale carta dovranno essere archiviati i dati alfanumerici nelle seguenti tabelle, corrispondenti alle schede descritte precedentemente (Figura 13):

- Indice
- scheda_ES
- scheda_AE
- scheda_AC
- scheda_AS
- scheda_US

Le tabelle sono state progettate per archiviare i dati delle schede. La relazione con gli shapefile è stabilita attraverso i campi ID_ES (tabella scheda_ES), ID_AE (tabella scheda_AE), ID_AC (tabella scheda_AC), ID_AS (tabella scheda_AS), ID_US (tabella scheda_US).

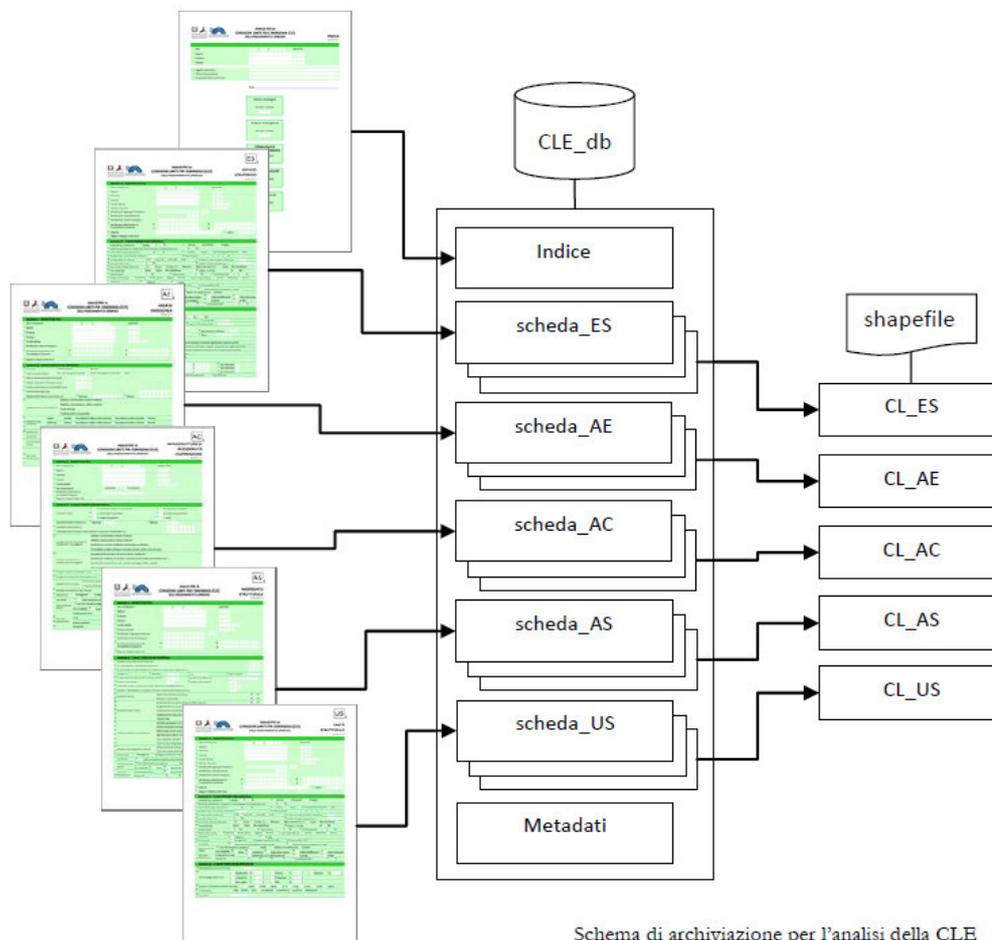


Figura 13. Schema di archiviazione per l'analisi della CLE

Si evidenzia che per la compilazione delle tabelle, è stato predisposto un software (“SoftCLE”, scaricabile dal sito web del Dipartimento della protezione civile, alla pagina <https://www.centromicrozonazioneismica.it/it/download/category/25-standardcle-31>) che permette l’inserimento dei dati all’interno del database “CLE_db.mdb”. Il database compilato tramite tale software dovrà essere esportato all’interno della cartella “CLE” secondo le modalità definite nel manuale “SoftCLE” (consultabile dal menu del software stesso). Il software consente la restituzione dell’analisi della CLE mediante:

- **Restituzione documentale**, ossia maschere di inserimento dati identiche alle schede di analisi
- **Restituzione cartografica**, mediante il collegamento del software con la struttura di archiviazione dei database cartografici.

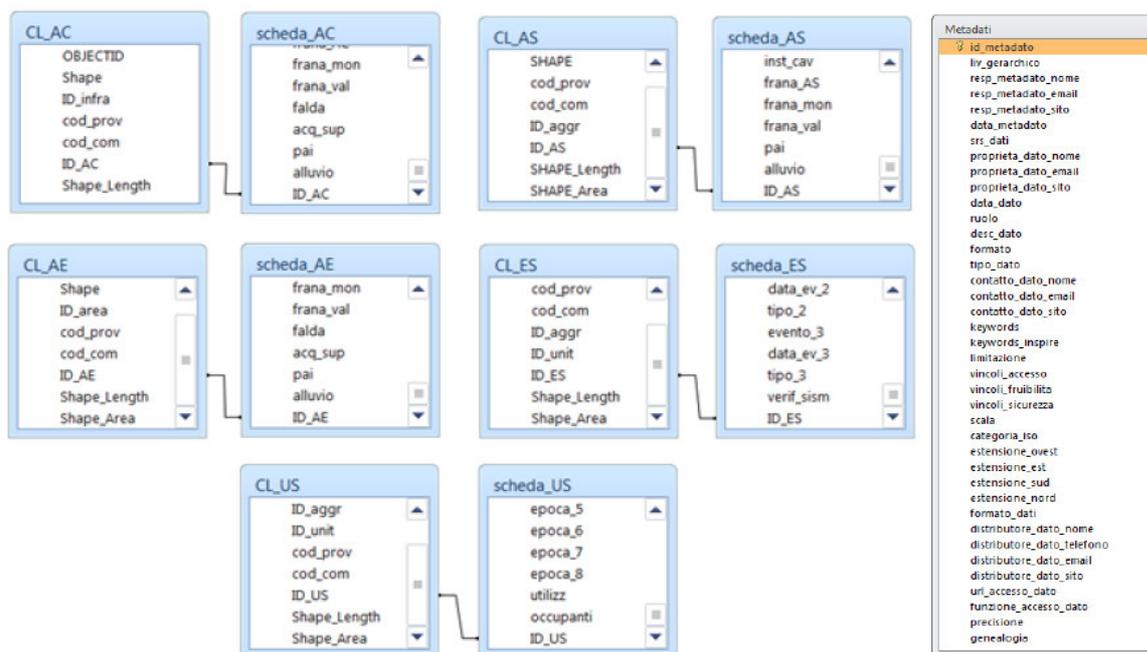
I dati cartografici dovranno essere archiviati nei seguenti shapefile:

- CL_ES
- CL_AE
- CL_AC
- CL_AS
- CL_US

Nome	Tipo	Descrizione
CL_ES	Poligonale	Edifici strategici
CL_AE	Poligonale	Aree di emergenza
CL_AC	Lineare	Infrastrutture di accessibilità/connesione
CL_AS	Poligonale	Aggregati strutturali
CL_US	Poligonale	Unità strutturali

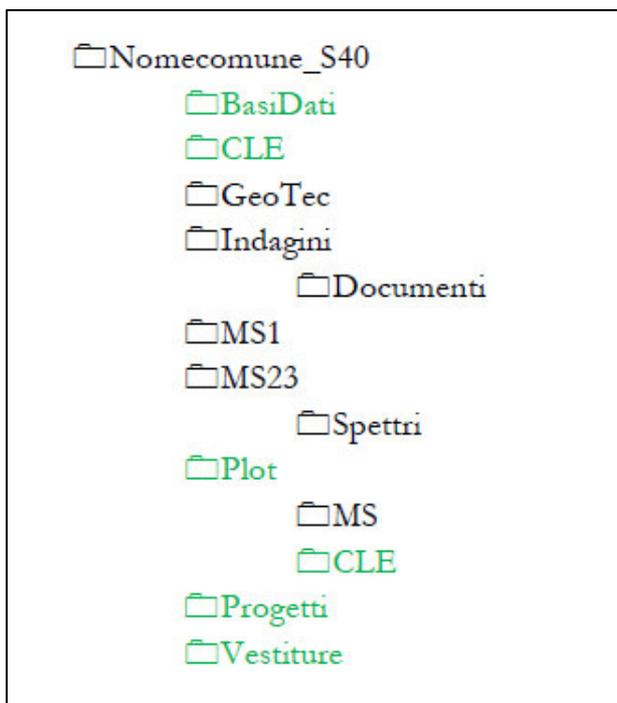
Tutte le informazioni archiviate, alfanumeriche e cartografiche, dovranno essere prodotte e inviate tramite supporto magnetico (CD o DVD). La stampa su supporto cartaceo è facoltativa e può essere sostituita da file in formato pdf, da inserire nella cartella “Plot/CLE” (vedi capitolo 2.2).

Tutti i file vanno archiviati in una cartella “CLE”, all’interno della cartella di archiviazione “NomeComune_S41”.



Struttura di archiviazione dei file

La struttura di archiviazione dei file, in cartelle, non può essere modificata ed è la seguente:



Il contenuto delle cartelle è il seguente:

Nome cartella	Descrizione sintetica dei contenuti
<i>Nomecomune_S40</i>	Cartella principale contenente tutte le cartelle funzionali alla realizzazione degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza. Questa cartella deve essere rinominata con il nome del Comune per il quale si sta eseguendo lo studio.
BasiDati	Nella cartella BasiDati andranno inserite le carte di base utilizzate (es. CTR) in formato <i>raster</i> o vettoriale georeferenziate in WGS84UTM33N. Eventuali ulteriori cartografie di riferimento richieste dalle singole Regioni potranno essere inserite qui.
CLE	Cartella contenente unicamente: <ul style="list-style-type: none"> • Gli <i>shapefile</i> per l'analisi della CLE o il <i>geodatabase</i>: <ul style="list-style-type: none"> ○ CL_AC ○ CL_AE ○ CL_AS ○ CL_ES ○ CL_US • Il <i>database</i> CLE_db.mdb che contiene le tabelle relative alle schede: <ul style="list-style-type: none"> ○ scheda_ES ○ scheda_AE ○ scheda_AC ○ scheda_AS ○ scheda_US
GeoTec	Cartella contenente gli <i>shapefile</i> o il <i>geodatabase</i> riferiti ad elementi geologici e idrogeologici: <ul style="list-style-type: none"> • Epuntuali • Elineari • Forme • Geoidr • Geotec Cartella nella quale inserire il <i>raster</i> georeferenziato della <i>Carta geologico-tecnica</i> prodotta e il file "Legenda".
Indagini	Cartella contenente: <ul style="list-style-type: none"> • gli <i>shapefile</i> delle indagini o i <i>geodatabase</i>. <ul style="list-style-type: none"> ○ Ind_pu ○ Ind_ln • il <i>database</i> "CdI_tabelle" con le tabelle per l'archiviazione delle indagini. Se si utilizza SoftMS esportare il file con il comando "Esporta Comune". • la cartella Documenti per inserire i documenti pdf delle Indagini_puntuali e delle Indagini_lineari
MS1	Contiene i seguenti <i>shapefile</i> o i <i>geodatabase</i> . <ul style="list-style-type: none"> • Isosub • Instab • Stab
MS23	Identico contenuto della cartella MS1. Contiene anche la cartella "Spettri" nella quale inserire gli spettri in formato .txt
Nome cartella	Descrizione sintetica dei contenuti
Plot	Cartella contenente: <ul style="list-style-type: none"> • la cartella MS nella quale inserire i file di stampa delle carte realizzate e la Relazione illustrativa • la cartella CLE nella quale inserire la Carta degli Elementi dell'analisi della CLE, con i relativi stralci e la Relazione illustrativa
Progetti	Cartella per eventuali progetti (per esempio .mxd realizzati in EsriArcGis®).
Vestiture	Cartella per le vestiture realizzate (librerie e simboli) ¹⁵ . Sono inoltre presenti i loghi della Conferenza delle regioni e delle Province Autonome e del Dipartimento della Protezione Civile, per il <i>layout</i> delle carte

L'intera struttura "NomeComune_S41_Geodatabase/Shapefile" può essere scaricata dal sito:
<https://www.centromicrozonazioneisismica.it/it/download/category/26-standardms-41>

Si evidenzia che le cartelle funzionali all'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza sono: "BasiDati", "CLE", "Plot", "Progetti" e "Vestiture". Le altre cartelle sono utilizzate nel caso in cui, unitamente all'analisi della CLE, vengano predisposti studi di Microzonazione Sismica.

Coloro i quali utilizzano SoftCLE per l'inserimento dei dati, dovranno esportare il database con le tabelle compilate e sostituirlo al database "CLE_db.mdb" nella cartella CLE. Per mantenere le

funzionalità di connessione con gli shapefile tale database dovrà sempre mantenere tale denominazione (“CLE_db.mdb”).

Allegato 1 (Indice della relazione illustrativa dello studio di microzonazione sismica di livello 1)

Introduzione

1.1. Finalità degli studi

Riferimenti normativi.

1.2. Descrizione generale dell'area comunale

Inquadramento geografico e altimetrico

1.3. Definizione dei documenti di base utilizzati nello studio

Cartografie, foto aeree, immagini da satellite, archivi consultati (fonti di acquisizione di dati geognostici), studi di riferimento (PSC, PPC, ecc.), articoli scientifici.

1.4. Aree da sottoporre agli studi di MS

Descrizione e delimitazione delle aree interessate dallo studio di MS.

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

2.1. Sismicità storica dell'area di studio

Definizione del catalogo di sito per il Comune studiato (Database Macrosismico Italiano 2015 INGV: <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>), eventualmente integrato da notizie inedite derivanti da fonti storiche locali relative a risentimenti di terremoti storici noti e/o sconosciuti alla letteratura sismologica. Descrizione sintetica dei maggiori terremoti risentiti nell'area di studio.

2.2. Sismicità recente dell'area di studio

Distribuzione della sismicità recente (Banche dati INGV; CPTI: <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>; ISIDE: <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>; CSI1.1: <http://csi.rm.ingv.it>; Banche dati regionali).

2.3. Pericolosità sismica di base

Carte di pericolosità di base (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>), spettri di risposta di riferimento, registrazioni accelerometriche (http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_31/#/home), faglie sismogenetiche (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1. Inquadramento geologico

Inquadramento geologico generale, assetto tettonico e neotettonico; con riferimenti ai dati di base considerati (cartografia, sezioni geologiche, studi e articoli scientifici).

3.2. Inquadramento geomorfologico

Inquadramento geomorfologico generale dell'area di studio con particolare riferimento agli elementi morfologici potenzialmente soggetti ad amplificazioni topografiche.

3.3. Successione stratigrafica

Descrizione delle unità stratigrafiche affioranti con relative caratteristiche litotecniche. Descrizione litostratigrafica degli affioramenti geologici ritenuti più rappresentativi (per estensione

dell'affioramento e per caratteristiche lito-strutturali) corredate da materiale fotografico dettagliato (commentato anche graficamente). Attribuzione delle unità litostratigrafiche ai Terreni di Copertura o al Substrato. Descrizioni della natura e delle geometrie delle superfici di contatto tra le diverse unità litostratigrafiche e tra Terreni di copertura e il Substrato, corredate da schemi riassuntivi (schema dei rapporti stratigrafici, tabelle di sintesi).

3.4. Elementi tettonici

Faglie attive e capaci (FAC) e potenzialmente attive e capaci (FPAC).

3.5. Considerazioni finali sull'architettura stratigrafica e sull'assetto morfologico e strutturale

Informazioni e considerazioni utili ai fini della valutazione delle criticità geologiche che insistono nelle aree investigate; indicazioni funzionali alla definizione della risposta sismica locale (es. notizie storiche su effetti cosismici a seguito di terremoti passati, interventi di stabilizzazione effettuati in aree in frana o in aree caratterizzate da litologie con caratteristiche geotecniche scadenti).

4. Dati geotecnici e geofisici

4.1. Dati pregressi

Schematizzazione dei dati pregressi acquisiti. Indicazione degli archivi e banche dati consultate per l'acquisizione dei dati pregressi.

4.2. Dati acquisiti ex-novo

Descrizione del piano delle indagini. Schematizzazione dei dati acquisiti ex-novo. Descrizione delle tecniche di acquisizione e modalità di elaborazione dei nuovi dati, attrezzature utilizzate e modalità di esecuzione delle prove (tale indicazione va fornita per ogni tipologia di indagine acquisita ex-novo mediante un sotto-paragrafo dedicato).

5. Modello del sottosuolo finalizzato alla MS

5.1. Unità geologico-tecniche: definizione e parametrizzazione

Modalità di integrazione dei dati raccolti ed estrapolazione delle unità litologico-tecniche dalle unità litostratigrafiche. Definizione e schematizzazione delle unità geologico-tecniche con sintesi delle principali proprietà fisiche, meccaniche (statiche e dinamiche) e geofisiche rilevanti per la modellazione della risposta sismica locale, tratte dalla letteratura (è richiesta la realizzazione di tabelle riassuntive). Attribuzione delle unità litologico tecniche ai Terreni di Copertura o al Substrato. Definizione del modello di sottosuolo.

5.2. Sezioni geologico-tecniche

Descrizione delle sezioni geologico-tecniche (in numero non inferiore a 2) rappresentative della complessità del sottosuolo dell'area investigata ed orientate in modo da evidenziare tutti gli elementi che possono indurre effetti locali di amplificazione (ad es., valli e scarpate sepolte, oppure zone con intensa fratturazione). In particolare, dovranno essere evidenziati e descritti i seguenti elementi:

- Andamento dell'interfaccia substrato geologico-coperture;
- Discontinuità sismiche e litostratigrafiche, morfologie sepolte e di superficie;
- Spessori significativi delle unità geologico-tecniche omogenee;
- Zone interessate da instabilità (frane, faglie attive e capaci, liquefazione, cedimenti);
- Elementi tettonici e strutturali rilevanti;

- Andamento della superficie piezometrica.

6. Interpretazioni e incertezze

Distribuzione dei dati: rappresentatività e incertezze (es., evidenziare litotipi per i quali si dispone di dati diretti e quelli per i quali si è fatto ricorso a dati di letteratura, trattamento statistico dei dati meccanici se la numerazione del campione lo consente). Limiti del modello di sottosuolo.

6.1 Indicazione della classe di qualità

Riportare i risultati della applicazione della procedura descritta da Albarello et al., 2011 (Ingegneria sismica, Anno XXVIII - n. 2, 63-64).

7. Elaborati cartografici

7.1. Carta delle indagini (CI)

Descrizione della distribuzione delle indagini, distinguendole tra pregresse e realizzate ex-novo; realizzazione tabella schematica riassuntiva per tipologia e quantità di indagini.

7.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni

Criteri adottati per la costruzione della carta delle frequenze; descrizione delle possibili interpretazioni geologico stratigrafiche associabili alle frequenze fondamentali rilevate con esempi illustrativi; tabella riassuntiva con riportati i valori di frequenza ed ampiezza dei picchi H/V per ogni misura.

7.3. Carta Geologico Tecnica per la MS (CGT_MS)

Descrizione delle unità di substrato geologico e dei terreni di copertura; Segnalare la presenza di aree con coperture di spessore inferiore a 3 m e non cartografabili. Descrizione delle tipologie di instabilità e degli elementi lineari e puntuali che si ritengono utili per gli studi di MS.

7.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)

Descrizione delle zone stabili, stabili suscettibili di amplificazioni locali e instabili; nonché degli elementi superficiali (orli di scarpate, creste morfologiche) e sepolti (faglie, paleovalli, cavità). Riportare gli schemi dei rapporti litostratigrafici (colonne stratigrafiche) per le singole microzone nonché i profili topografici in grado di condizionare la risposta sismica.

7.5. Commenti finali e criticità

Evidenziare le aree per le quali si raccomandano approfondimenti di 2° o 3° livello e quelle per le quali, sulla base dei dati disponibili, sussistono incertezze circa le caratteristiche della risposta sismica e delle deformazioni cosismiche attese.

8. Bibliografia

Riportare tutti i riferimenti scientifici e tecnici consultati per la redazione della relazione e per la realizzazione dello studio.

9. Allegati

9.1. Carta delle indagini in scala 1:5000

9.2. Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5000

9.3. Carta Geologico-Tecnica per la MS (CGT_MS) in scala 1:5000

9.4. Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5000

9.5. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) in scala 1:5000

Allegato 2 (Indice della relazione illustrativa degli elaborati per l'analisi della CLE)

1. Introduzione

- Composizione del team di rilevamento, periodo temporale dell'incarico, ecc.

2. Dati di base

- Indicare quanti e quali dati sono stati utilizzati per l'analisi della CLE; segnalare eventuali carenze.

3. Criteri di selezione degli elementi del sistema di gestione dell'emergenza

- Descrivere i criteri con i quali sono stati selezionati gli elementi per l'analisi della CLE, in particolar modo Edifici Strategici, Aree di Emergenza e infrastrutture di Accessibilità/Connessione;
- Evidenziare eventuali compresenze di funzioni strategiche all'interno dello stesso Edificio Strategico;
- Segnalare eventuali soppressioni o inserimenti di ES e/o AE aggiuntivi e non indicati negli strumenti di pianificazione di emergenza; indicare le motivazioni di tali soppressioni/inserimenti.

4. Indicazioni sintetiche per il Comune

- Segnalare eventuali criticità emerse durante l'analisi;
- Eventualmente evidenziare possibili ricadute in termini di pianificazione comunale.

5. Elaborati cartografici

- Elenco degli elaborati prodotti.