Quaderno di **METEOROLOGIA APERTA** N°3

METEOCERT®
progettazione e certificazione delle reti meteorologiche al suolo

Massimo Crespi[1]
Andrea Bertolini[2]

In Padova (Italia),
2021 rev. 2026

Sommario

1. LA CONOSCENZA CLIMATICA: UN BENE COMUNE 1

1.1. FUNZIONE E RUOLO DELLE RETI E DEI SERVIZI METEOROLOGICI PUBBLICI 1
1.2. UNA RETE METEOCLIMATICA NAZIONALE POLIFUNZIONALE 2
1.2.1. Le reti 2
1.2.2. La polifunzionalità 3
1.3. L'INTEGRAZIONE TRA PUBBLICO, PRIVATO, ACCADEMIA, CULTURA E SOCIETÀ 4

2. COS'È MeteoCert® 6

3. SISTEMI DI MONITORAGGIO METEOROLOGICO 7

3.1. L'INSIEME OSSERVATIVO® 7
3.2. SENSORI E RETI IN SITU 8
3.3. OSSERVAZIONI AEROPORTUALI 8
3.4. OSSERVAZIONI METEO-MARINE 9
3.5. STAZIONI VIRTUALI 10

4. PRINCIPI GENERALI 11

4.1. RIFERIMENTI WMO 11
4.2. LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE E LA GESTIONE DELLE RETI 12
4.2.1. Multifunzionalità e integrazione delle reti osservative 12
4.2.2. Equilibrio tra esigenze nazionali, regionali e globali 12
4.2.3. Densità, distribuzione e rappresentatività spaziale delle stazioni 12
4.2.4. Omogeneità e continuità delle serie storiche 13
4.2.5. Qualità, calibrazione e tracciabilità 13
4.2.6. Gestione pianificata del cambiamento tecnologico e della transizione 13
4.2.7. Sostenibilità a lungo termine delle reti 13
4.2.8. Priorità per aree e parametri critici 14
4.2.9. Rappresentatività del sito e corretta esposizione degli strumenti 14
4.3. ALTRE NORMATIVE RILEVANTI 14

5. CARATTERISTICHE DEI SENSORI E DEI SITI 16

5.1. SENSORI AUTOMATICI E DI QUALITÀ 16
5.2. SITO DI MISURA, ALTEZZA DAL SUOLO ED ESPOSIZIONE DEI SENSORI 16
5.2.1. Classificazione del sito 17
5.2.2. Altezza dei sensori dal suolo 18
5.2.3. Esposizione degli strumenti 18
5.3. SUPERVISIONE 20

6. PROGETTAZIONE DI UNA NUOVA RETE 20

6.1. ANALISI DELLE RETI ESISTENTI 20
6.2. INDAGINE DI MERCATO 21
6.3. MACRO-UBICAZIONE 21
6.4. MICRO-UBICAZIONE 22
6.5. INDICAZIONI TECNICHE ESECUTIVE E SUPERVISIONE LAVORI 23
6.6. ASSISTENZA AMMINISTRATIVA 24
6.7. SCHEDA DI PRE-CERTIFICAZIONE 24

7. RIMODULAZIONE E MESSA A NORMA DI UNA RETE ESISTENTE 24

7.1. ANALISI DELLO STATO DI FATTO DELLA RETE E VALUTAZIONE DI QUALITÀ DELLE STAZIONI 24
7.2. ANALISI DELLE ALTRE RETI ESISTENTI 25
7.3. SOPRALLUOGO E CLASSIFICAZIONE DEL SITO DI MISURA 25
7.4. INDICAZIONI TECNICHE ESECUTIVE E SUPERVISIONE LAVORI 25
7.5. SCHEDA DI PRE-CERTIFICAZIONE 25

8. CONTROLLO E VALIDAZIONE DEI DATI 26

8.1. FAMIGLIE DI TEST 27
8.2. DATO PROVVISORIO E DATO VALIDATO 27
8.3. NOTIFICA DEI MALFUNZIONAMENTI 27

9. CERTIFICAZIONE 28

9.1. PREMESSA 28
9.2. IL PROCESSO DI CERTIFICAZIONE 29
9.3. IL CICLO DI CERTIFICAZIONE 29

10. NOTE 31

11. BIBLIOGRAFIA 31

WMO-NO. 8: GUIDE TO INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION, VOLUME I – MEASUREMENT OF METEOROLOGICAL VARIABLES 34

WMO-NO. 8: GUIDE TO INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION, VOLUME III – OBSERVING SYSTEMS 38

WMO-NO. 100: GUIDE TO CLIMATOLOGICAL PRACTICES 39

WMO-NO. 134: GUIDE TO AGRICULTURAL METEOROLOGICAL PRACTICES 45

WMO-NO. 488: GUIDE TO THE GLOBAL OBSERVING SYSTEM 45

WMO-NO. 1185: GUIDELINES ON CLIMATE OBSERVATION NETWORKS AND SYSTEMS 47

WMO/TD-NO. 1558: GUIDE TO THE GCOS SURFACE NETWORK (GSN) AND GCOS UPPER-AIR NETWORK (GUAN) 50

WMO-NO. 1160: MANUAL ON THE WMO INTEGRATED GLOBAL OBSERVING SYSTEM 51

WMO-NO. 1165: GUIDE TO THE WMO INTEGRATED GLOBAL OBSERVING SYSTEM 54

1. LA CONOSCENZA CLIMATICA: UN BENE COMUNE

1.1. FUNZIONE E RUOLO DELLE RETI E DEI SERVIZI METEOROLOGICI PUBBLICI

Le infrastrutture, i servizi ed il mercato della meteorologia e della climatologia si sono molto evoluti negli ultimi decenni. Questa evoluzione è avvenuta sia grazie alle nuove tecniche di osservazione e di elaborazione, sia grazie ad una forte pressione di un'utenza oramai diffusa e trasversale. Tale utenza ha sollecitato lo sviluppo di prodotti, servizi e dataset molto discretizzati, sia nel tempo che nello spazio, strutturati per alimentare i più diversi piani di astrazione ed in grado di integrarsi nei processi digitali. Tutto ciò ha ampliato la platea degli utilizzatori a tutto il sistema economico e sociale del Paese, ed ha determinato un'aggregazione di valore diffusa, favorita anche dal fatto che i dati raccolti, in buona parte frutto di un investimento pubblico, sono aperti, disponibili e fruibili da parte dei cittadini e delle aziende, in linea con la Direttiva (UE) 2019/1024 sui dati aperti e con il Regolamento di esecuzione (UE) 2023/138, che include i dati meteorologici tra i dataset di elevato valore.

Per sviluppare tutte le proprie potenzialità in termini anche economici e sociali, è di fondamentale importanza che il sistema meteorologico pubblico provveda anzitutto a garantire il livello qualitativo e l'efficienza della struttura di monitoraggio, in tutta la sua complessità, in una visione di multifunzionalità avanzata ed in una posizione di costante ascolto verso esigenze che vivono una continua ed inarrestabile evoluzione.

Questa attenzione consente, da una parte, di evitare quell'autoreferenzialità che ha da sempre connotato i servizi meteorologici pubblici – che peraltro trova una ragione nel fatto che sino ad oggi essi hanno avuto una competenza quasi esclusiva – e, dall'altra, di sviluppare al meglio le attività istituzionali previste nei diversi livelli legislativi, ad esempio di difesa e di protezione civile sul piano nazionale, e di servizi per l'ambiente e per l'agricoltura sul piano regionale.

Negli spazi che si sono creati, nuovi attori si affacciano. In questi anni, aziende nazionali del settore energetico ed agroalimentare, assieme a presidi territoriali significativi come le utility ed i consorzi di bonifica, hanno realizzato sistemi di monitoraggio sia locali che nazionali, spesso certificati, i quali non possono che venir integrati in un sistema globale di osservazione.

Tuttavia, il quadro istituzionale non è riuscito a sostenere queste sfide. L'assenza di un servizio e di una rete meteorologica nazionale rilevante ed armonizzata ha determinato una evidente recessione delle conoscenze relative alle reti, alla loro realizzazione ed al loro utilizzo.

Anche il know how climatico nazionale di supporto alle attività operative — non quindi di carattere accademico o sperimentale — non si è sviluppato su una massa critica sufficiente a coglierne tutte le emergenze e gli sviluppi, ma è rimasto confinato negli angusti limiti delle attività istituzionali, in particolare di protezione civile, che richiedono sostanzialmente servizi previsionali.

Nel frattempo, la conoscenza climatica ha assunto un ruolo pervasivo anche nell'economia del Paese, chiamata a rispondere alla gestione del rischio climatico con dati ad elevata risoluzione, tecnologie ed applicazioni innovative, e strutture agili di ricerca e sviluppo.

È quindi necessario prendere le mosse da una visione di insieme e di governo, che consenta chiarezza nei metodi, negli investimenti, nelle gestioni, ma soprattutto negli scopi di un sistema tecnologico pubblico a servizio dell'intera Nazione e di tutte le sue componenti.

Sul piano internazionale, la meteorologia e l'idrologia godono, come è noto, di un coordinamento mondiale esercitato dall'ONU attraverso la WMO (World Meteorological Organization), ma non solo: il tema climatico ha assunto una tale rilevanza che è oggetto di studi e di attenzione normativa anche da parte di altri grandi regolatori, come la World Bank, la BCE e le altre banche centrali, o le authority dell'energia, delle acque e di vigilanza del sistema assicurativo.

L'analisi del piano nazionale, dal canto suo, fa emergere una sommatoria e, in alcuni casi, una sovrapposizione di competenze e interessi tra Stato e Regioni: le prime riconducibili soprattutto alla difesa, alla protezione civile e alla gestione dei bacini idrici; le seconde all'ambiente, all'agricoltura e al turismo.

Vi sono poi ulteriori livelli di incisiva presenza sul territorio, come i gestori delle acque (utility, consorzi di bonifica, autorità di bacino), le aree urbane (amministrazioni locali, città metropolitane), i parchi, i territori agricoli (direttive europee, piani di sviluppo rurale).

In un quadro così complesso, prendendo le mosse dalle linee guida tracciate dalla WMO, è necessario quindi creare dei riferimenti affidabili e chiarire le esigenze, le competenze ed i ruoli, con lo scopo di sviluppare un progetto nazionale sostenibile.

1.2. UNA RETE METEOCLIMATICA NAZIONALE POLIFUNZIONALE

1.2.1. Le reti

La meteorologia si basa sulle misurazioni dirette dei parametri meteorologici, che vengono integrate in un sistema osservativo®, il quale comprende le misure in quota (radiosondaggi) e i sistemi di telerilevamento (satelliti, radar meteorologici, radiometri, reti di rilevamento dei fulmini); essa si avvale poi di tecniche elaborative molto avanzate, come la rianalisi o analisi retrospettiva, e i modelli numerici di previsione a scala globale e ad area limitata.

Il dato osservato, che nella maggior parte dei casi viene desunto dal sensore meteorologico al suolo, rimane comunque alla base della meteorologia: tutta la piramide meteorologica di conoscenze inizia da quel piccolo sensore e quindi tutta la catena del valore e la stessa qualità finale del prodotto dipende in modo consistente da quel dato originale.

Per quei motivi gli strumenti di misurazione "in situ" e le reti meteorologiche al suolo vanno considerate con grande attenzione, nulla togliendo al fatto che la ricchezza di strumenti e di tecnologie anche diversificate disponibili porta un grande valore sia alla conoscenza meteoclimatica che ai servizi che vi sono connessi, poiché utilizza sensori molto specializzati nella stima di singoli parametri, svolge una efficace funzione di back up, consente il confronto incrociato e la verifica di coerenza tra misure indipendenti, apre a nuove applicazioni.

La WMO classifica i siti di misura in cinque categorie. Si seguirà quindi quella traccia per definire un modello multistrato di rete nazionale in grado di rispondere ad esigenze diverse, secondo il seguente schema:

1. rete meteorologica nazionale,
2. rete climatologica nazionale,
3. reti funzionali locali.

1. La "rete meteorologica nazionale" è l'intera e vera rete nazionale; comprende tutte le stazioni valutate almeno "conformi", cioè con siti di classe non superiore alla 3 per le variabili misurate e con requisiti adeguati per strumentazione e supervisione. Include quindi anche la rete climatologica descritta al punto seguente, mentre ne restano escluse le reti funzionali locali. Si tratta di una rete performante ed agile, che

costituisce l'infrastruttura osservativa del Paese ed è in grado di sostenere tutta la domanda meteorologica con dati ufficiali, rappresentativi e sostenibili.

2. La "rete climatologica nazionale" è costituita da un sottoinsieme di stazioni valutate "pienamente conformi": siti di classe 1 o 2 come definiti delle Linee guida WMO-No. 8 (Vol. I, Cap. 1, All. 1D; vedi anche Cap. 5.2.1). Di questa rete faranno parte i siti ubicati in modo ottimale e di maggiore rappresentatività. Si tratta di una rete molto importante, punto di riferimento per il monitoraggio delle politiche di adattamento, componente delle maglie internazionali, strumento di comunicazione sociale, soggetta quindi anche ad una forte pressione che solo un sistema molto garantito è in grado di sostenere. Per la sua rilevanza, questa rete dovrebbe essere oggetto di certificazione.
3. Un terzo livello è costituito dalle "reti funzionali locali" che, a diverso titolo, rispondono a esigenze di carattere più puntuale e tematico, connesse ad esempio con l'agricoltura (irrigazione, trattamenti), con l'idrologia e il dissesto idrogeologico, con la gestione delle acque e delle smart city, con l'energia, l'oil & gas e le piattaforme off shore. Per motivi tecnici o funzionali (altezza e collocazione dei sensori, interferenze, ecc.), i loro siti ricadono spesso nelle classi 4 e 5, eventualmente con flag "S" che indica ambienti o applicazioni specifici (WMO-No. 8, Vol. I, Cap. 1, All. 1.D; vedi anche Cap. 5.2.1). I dati raccolti restano comunque rappresentativi e utili per lo scopo cui sono destinati. I loro prodotti normalmente non entrano nei dataset ufficiali, ma possono essere significativi in altri contesti (back up, protezione civile, tempo reale, ricerca).

Un piano di questa caratura dovrebbe anzitutto assorbire ed armonizzare tutte le diverse reti di monitoraggio regionali, unificando i processi di acquisizione, validazione e controllo dei dati, assicurando la manutenzione e le tarature, garantendo gli standard e l'evoluzione tecnologica. Conseguire quegli scopi richiede un solido impianto progettuale, sia generale che esecutivo, non si tratta infatti di assemblare un collage di sensori meteorologici distribuiti sui territori, ma di trasformarli in un sistema coordinato, omogeneo e funzionante, dotato di una policy e soggetto ad una pianificazione generale, funzionale ad alimentare il patrimonio conoscitivo globale.

A questo proposito va ricordato che, alla fine del secolo scorso, quando le reti meteorologiche di nuova concezione hanno iniziato a coprire il territorio nazionale, si è spesso incorsi nell'errore di affidare alle imprese fornitrici tutte le attività di progettazione, di scelta dei siti, degli strumenti, delle tecnologie di trasmissione, delle modalità di gestione e manutenzione. Ne è risultata una rapida regressione del know how interno alle amministrazioni, che ha portato ad una inadeguatezza nella progettazione, nella direzione dei lavori e nei collaudi; in alcuni casi si è arrivati ad una totale incomunicabilità tecnologica fra le diverse reti e le diverse regioni, per la carenza di controlli e la conseguente inevitabile deriva delle imprese verso posizioni di taglio monopolista e comunque di maggior convenienza.

1.2.2. La polifunzionalità

In meteorologia la rappresentatività va relativizzata ad ogni diversa applicazione, non esistono dataset validi per tutto; d'altronde la tecnologia consente di operare questa discretizzazione tematica sia temporale che spaziale, quando poggia su di una rete in grado di sostenerla. Questa impostazione consente di alimentare con dataset funzionali i diversi piani di astrazione che un sistema nazionale è tenuto a considerare, quindi le attività di carattere istituzionale in modo esaustivo, ma anche tutti i dataset di dati terzi, rappresentativi e sostenibili ai quali il sistema economico e sociale può aggregare ulteriore valore in termini di occupazione, di PIL, di concorrenza, di internazionalizzazione, di presenza culturale e strategica. Un contributo reale al Paese verrebbe comunque sempre apportato anche qualora una rete ed un servizio nazionali si limitassero al mantenimento di uno standard elevato

dei dati raccolti e prodotti, poiché la continua evoluzione tecnologica, la mobilità degli scenari e la liquidità degli obiettivi richiedono una agilità di sviluppo e di risposta ed una macchina organizzativa tali che non possono trovare corrispondenza in una struttura, quella pubblica, che non ne è vocata e che verrebbe distolta dai propri compiti istituzionali.

1.3. L'INTEGRAZIONE TRA PUBBLICO, PRIVATO, ACCADEMIA, CULTURA E SOCIETÀ

Sono già emerse nei capitoli precedenti alcune considerazioni di sostanza. Da una parte la nuova rilevanza delle conoscenze meteorologiche e climatiche e la loro pervasività, dall'altra come gli attori siano molti e tutto questo ambito non sia più confinabile ad una ristretta competenza pubblica. A ciò va sommato un quadro istituzionale nazionale ancora irrisolto. Nel 2017 (L. n. 205/2017) sono stati istituiti l'Agenzia nazionale per la meteorologia e climatologia ItaliaMeteo e il Comitato di indirizzo per la meteorologia e la climatologia. A distanza di quasi un decennio, tuttavia, l'Agenzia non ha ancora raggiunto una piena operatività: i suoi piani di attività hanno riproposto di anno in anno obiettivi in larga parte non realizzati. Dell'attività del Comitato, poi, risultano scarsamente reperibili atti e resoconti pubblici. La riforma della governance introdotta dalla legge di bilancio 2026, che ha commissariato l'Agenzia affidandone indirizzo e vigilanza al Dipartimento della Protezione Civile, conferma che il percorso è tutt'altro che concluso.

Come è noto, la Costituzione non aiuta a dirimere questa situazione, lasciandone la competenza alla legislazione concorrente, quindi in sostanza alle Regioni; ma l'attuale contingenza climatica non era nella cognizione dei Costituenti, andrebbe quindi considerata come inevitabile l'ipotesi di modifica dell'art. 117 della Carta. Il riscaldamento globale, a differenza ad esempio della pandemia di COVID-19, è infatti destinato a permanere e richiede quindi soluzioni strutturali e permanenti, che in questo caso si identificano con la creazione di un **Servizio Meteorologico Nazionale (SMN)** civile e unitario, in uno dei pochissimi Paesi al mondo che non ne dispone: l'Italia.

Da un punto di vista istituzionale, questo passaggio non andrebbe a modificare gli assetti, le strutture e le risorse sin qui investite da parte dei diversi enti, ma darebbe vita ad un livello superiore e coordinato di conoscenze e di servizi, in grado di riflettersi positivamente sulle intere componenti del sistema meteorologico nazionale, di qualsiasi matrice o afferenza, sia pubblica, che privata, che accademica e sul suo posizionamento internazionale.

Il livello nazionale infatti, oltre alle attività istituzionali che gli sono proprie, andrebbe a risolvere alcune criticità, ed in particolare:

1. il coordinamento generale sull'intero sistema di monitoraggio, sulla progettualità, sugli investimenti,
2. un livello cruciale di know-how,
3. il modello meteorologico globale di standard elevato,
4. la conoscenza e la visione generale di una penisola dalla climatologia estremamente diversificata con ampie aree, soprattutto nel Sud e nelle isole, esposte a rischio di degrado del suolo e desertificazione,
5. la rappresentanza riconosciuta negli organismi tecnici internazionali,
6. il supporto di conoscenze per gli interessi strategici ed economici nazionali nel mondo.

In questo quadro di natura civile, va considerato anche il ruolo ed il contributo dell'Aeronautica Militare la quale, impegnata su diversi contesti internazionali, dovrebbe avvalersi del nuovo SMN, anche integrandosi con esso, per tutte le attività non classificate e sinergiche, quali l'assistenza al volo e l'intelligence climatica a supporto della difesa e degli interessi nazionali (nuove rotte polari, zone di conflitto).

Il livello regionale non può che giovarsi di una nuova strutturazione dei servizi meteoclimatici, poiché:

1. né il clima né la meteorologia hanno una confinazione regionale,
2. una rete nazionale climaticamente certificata garantisce la fornitura di servizi locali più affidabili,
3. le Regioni che intendono investire in adattamento e resilienza, o che storicamente hanno investito per l'agricoltura, la sanità o l'ambiente, possono continuare a sviluppare conoscenze territoriali specifiche.

In questa visione di integrazione, un ruolo strategico rilevante è quello detenuto dalla ricerca scientifica e dall'accademia. In ambito IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) dell'ONU, la Fondazione CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici) è il Focal Point nazionale IPCC per l'Italia. D'altronde, è il mondo della scienza che ha lanciato, oramai alcuni decenni or sono, insistenti segnali d'allarme sul tema climatico, spesso inascoltati o sottovalutati. Oggi la scienza ha un controllo ed una conoscenza avanzati degli scenari e delle loro dinamiche, strumenti fondamentali per perseguire ogni politica di resilienza, adattamento e mitigazione, e per monitorarne i risultati. Ma la pervasività climatica ha investito anche le accademie, ed oggi questa narrazione corre il rischio di disperdersi in una "cortina fumogena di numeri" (Amitav Ghosh) la quale, a sua volta, alimenta le post-verità ed il malessere che sfocia nei negazionismi. Le stesse attività di ricerca sfuggono non tanto ad un coordinamento, non si tratta infatti di limitare la libertà della ricerca, quanto ad una visione strategica generale, come si è notato in alcuni progetti del PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza italiano) ed in altri bandi a finanziamento pubblico, nei quali la ricerca avviene per commissione e dovrebbe quindi rispondere a quesiti specifici.

Inoltre, questo muoversi un po' a tutto campo di spin off, start up e fondazioni di matrice pubblica o universitaria confonde le competenze ma soprattutto il ruolo dei diversi organismi. L'ibridazione delle attività di ricerca con le attività a carattere più industriale, con i cosiddetti servizi, da parte di una struttura creata e sostenuta comunque da risorse pubbliche per fini di ricerca, ingenera uno scompenso nella concorrenza e non chiarisce il valore economico del bene o del servizio prodotto. Oltre a ciò, le attività commerciali, quando non sono necessarie per dare concretezza ad un progetto o per comprendere un'esigenza, forzano le strutture verso un'organizzazione difforme dalla sua matrice originale, che dovrebbe essere quella della crescita culturale complessiva del Paese e dei suoi giovani, della ricerca di base, ma anche dell'elaborazione e del trasferimento di know-how scientifico e tecnologico alle imprese, per creare valore ed occupazione.

Il problema climatico, inoltre, non è un tema per soli climatologi. La scienza fornisce le conoscenze indispensabili, ma trattandosi di un tema di coesione sociale le risposte non possono che essere anche di carattere infrastrutturale, industriale e culturale. Ora, mentre le scelte industriali sono guidate da logiche sovranazionali, quelle infrastrutturali, di carattere più interno, potrebbero rappresentare per l'Italia l'occasione di un ammodernamento generale e di un allineamento con gli standard del centro Europa. In conclusione, quella climatica è un'emergenza sia nazionale che internazionale, che non trova una risposta tematica, ma deve integrare tutte le risorse del Paese ed accoglierne i contributi. WMO, World Bank, BCE e tutti gli organismi internazionali e nazionali di rilievo che si sono espressi sul tema, individuano la chiave per affrontare questa sfida globale in una risposta globale, attraverso la stretta integrazione fra pubblico, privato, accademia, cultura e società, ottenuta mediante un processo formale di coinvolgimento.

Ma è necessario spingere il pensiero anche oltre la frontiera delle tecnologie. Non si può rinunciare a guardare lontano, a semantizzare, a dare significato, a fornire una visione su quei temi che, sfrondati dalle tare comunicative, disegnano l'etica dei tempi, come la preoccupazione per la natura, la giustizia, l'impegno sociale ed anche la pace interiore (Papa Francesco). Una narrazione climatica corretta, equilibrata e condivisibile è lo strumento sostenibile

che può dare successo anche a scelte che andranno inevitabilmente a modificare la vita delle persone, le loro aspettative, i loro modelli.

In sostanza si tratta di sostenere un modello di società realmente aperta (Bauman), poiché è il solo che possa sentirsi responsabile di sé stesso e conscio dei propri limiti.

2. COS'È MeteoCert®

La realizzazione delle reti meteorologiche richiede un impegno significativo per investimento iniziale, gestione e manutenzione, è quindi ragionevole aspettarsi che esse forniscano una base osservativa di qualità per supportare le molteplici funzioni cui possono venir destinate. Tuttavia, si è constatato che sovente questi sistemi di monitoraggio, a causa di situazioni o problematiche a volte facilmente superabili (ubicazione non ottimale della stazione, mancanza di una corretta validazione dei dati, inadeguatezza di alcuni sensori) producono dati di limitata rappresentatività[3] e non adeguati a tutte le applicazioni. Questa situazione è sostanzialmente dovuta ad una carenza di progettualità, od addirittura alla sua assenza, quando ad esempio si ritiene di affidare al fornitore della rete anche la fase progettuale, ritenendo in questo modo di ridurre i costi del progetto, oppure quando la gestione complessiva della rete non soddisfi almeno i canoni basilari della supervisione raccomandata dalle linee guida della *World Meteorological Organization* (WMO[4]), a volte solamente per una loro inadeguata conoscenza.

Le reti di monitoraggio richiedono anzitutto una attenta progettazione, che consenta di disegnare una struttura che risponda alle specifiche esigenze, sia negli aspetti tecnologici e normativi che in quelli gestionali e finanziari. Ove possibile, e se necessario, esse vanno già concepite in una prospettiva di certificazione. Allo stesso modo, le reti esistenti vanno ricondotte ad una normalizzazione e ad una ottimizzazione tecnologica e funzionale che ne valorizzi i dati ed i servizi connessi. Il processo di certificazione, ove applicabile, conclude questo iter che Radarmeteo ha strutturato sia a livello operativo che formale all'interno di MeteoCert®.

MeteoCert® è il servizio di progettazione, rimodulazione, messa a norma e certificazione delle reti meteorologiche, sviluppato da Radarmeteo sulla base delle linee guida WMO e ispirato alle migliori pratiche attuate in ambito internazionale (es. dai Servizi Nazionali di Meteorologia e Idrologia di Svizzera, Svezia, Norvegia, ecc.).

Il processo può riguardare sia reti di prossima realizzazione che reti esistenti e si sviluppa secondo diversi step successivi, guidati da personale tecnico con competenze specifiche sulla strumentazione meteorologica e sulle linee guida WMO. In entrambi i casi l'obiettivo finale è il raggiungimento della certificazione, rilasciata da parte di un Ente terzo indipendente e abilitato.

Tra le principali attività del percorso MeteoCert®, descritto in tutte le sue diverse fasi ai Cap. 6 (nuova rete) e 7 (rete già esistente), vi sono la valutazione di qualità della strumentazione e la classificazione del sito di misura. Esse prevedono l'analisi delle schede tecniche dei sensori e un sopralluogo su tutti i punti di rilevamento, siano essi già attivi (rete esistente da adeguare) o di possibile attivazione (nuova rete in via di progettazione).

In caso di rete già esistente, a seguito del primo sopralluogo, viene redatta una relazione generale sul suo stato di fatto, comprendente la valutazione di conformità di ogni stazione e le indicazioni tecniche per la loro messa a norma; diversamente si procede alla stesura del progetto esecutivo con le istruzioni riguardanti la messa in posa delle stazioni, dei singoli sensori e di tutti gli elementi di supporto e corredo.

Durante tutte le fasi della messa a norma della rete o della sua realizzazione, MeteoCert® garantisce costante supporto: dalla scelta dei materiali e dei sensori più idonei, all'analisi di mercato per l'individuazione delle ditte fornitrici-installatrici, nonché alla supervisione dei lavori.

Giunti alla conclusione delle operazioni di messa a norma o nuova realizzazione, si procede con un secondo sopralluogo durante il quale si verifica la corretta installazione dei sensori in ottemperanza alle linee guida WMO e si raccolgono le informazioni per redigere la relazione tecnica di collaudo.

Lo step successivo è l'implementazione di una corretta e sistematica attività di supervisione, indispensabile per mantenere nel tempo la rappresentatività e qualità della rete. A tal fine MeteoCert®, ove la manutenzione ordinaria non venga assegnata ai fornitori, si fa carico della formazione del personale che vi verrà impiegato. Essendo questa attività necessaria anche per i dati raccolti, è disponibile anche un servizio complessivo per il controllo dei dati, la loro validazione, elaborazione e rappresentazione fino all'invio di notifiche al gestore in caso di sensori malfunzionanti (Cap. 8).

Si giunge quindi alla certificazione formale della rete di monitoraggio meteorologico (Cap. 9). Durante questo procedimento, da ripetere ogni cinque anni, MeteoCert® garantisce supporto tecnico ed amministrativo sia nella preselezione dell'Ente certificatore, che durante l'audit: dalla condivisione dei dati e delle informazioni raccolte in fase di valutazione e classificazione, all'accompagnamento sui siti di misura per rilievi e verifiche.

Tutti gli step descritti possono essere comunque anche indipendenti, nel senso che vi possono essere esigenze diverse da soddisfare, ad esempio la sola validazione ed elaborazione dei dati, oppure il solo progetto di installazione di una rete nuova.

Al termine del processo MeteoCert® la rete meteorologica avrà acquisito valore, perché conforme alle linee guida WMO e certificata, rappresentativa, efficiente e capace di rilevare dati di qualità dati di qualità documentata, che costituiscono una base tecnica solida e difendibile anche in contesti legali, assicurativi e amministrativi e saranno idonei ad alimentare Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS).

3. SISTEMI DI MONITORAGGIO METEOROLOGICO

3.1. L'INSIEME OSSERVATIVO®

Il monitoraggio dei parametri meteorologici viene effettuato mediante sistemi di monitoraggio, usualmente organizzati in reti di sensori e di stazioni, di varia tecnologia, caratteristiche e finalità. Oltre alle stazioni meteorologiche cosiddette *in situ,* un ruolo chiave viene ricoperto dai radiosondaggi e dalla sensoristica remota, come i satelliti, i radar, i rilevatori delle fulminazioni. Inoltre, per alcune applicazioni speciali, come ad esempio l'inquinamento urbano, la radio telescopia o la meteorologia aeroportuale, è necessario ricorrere a strumentazioni specifiche come i radiometri, i *sodar* e altri.

A questo proposito si sottolinea che è da un *merging* informativo fra queste diverse famiglie di osservazioni che si ottengono i migliori risultati sulla conoscenza dello stato dell'atmosfera e della sua evoluzione.

Ogni tipologia di strumento è soggetta ad un proprio percorso certificativo ed anche a diversi standard qualitativi; rispetto a tale eterogeneità, si intende specificare che il documento è dedicato alla realizzazione ed alla certificazione di reti costituite da sensori e stazioni *in situ*.

3.2. SENSORI E RETI *IN SITU*

La scienza meteorologica nasce con le osservazioni eseguite *in situ*, che costituiscono tuttora la serie storica più lunga e rilevante delle nostre conoscenze atmosferiche. Oggi la loro importanza non è cambiata, si è anzi ampliata. Ciò è dovuto a vari fattori; da una parte al continuo affinamento tecnologico della sensoristica e delle sue *performance*; dall'altra all'integrazione con i dati raccolti da fonti diverse, come i sensori remoti (radar, satelliti); infine dal peso che i dati *in situ* hanno acquisito nella produzione di rianalisi e di dataset climatici su griglia, sia come dati assimilati sia come riferimento indipendente per la loro verifica.

Parlare oggi di reti meteorologiche al suolo significa muoversi all'interno di linee guida ben definite, imprescindibili nel contesto di un insieme osservativo mondiale e quindi di interrelazioni su diversi livelli. Le reti vanno anzitutto definite in base al loro scopo, e su questo riferimento ne vanno individuate le caratteristiche ed i livelli di rappresentatività. Il monitoraggio dei grandi fenomeni atmosferici alla mesoscala, le evoluzioni climatologiche, il nowcasting, l'agrometeorologia o la meteorologia urbana, presentano diverse esigenze, quindi diverse saranno la tipologia e distribuzione dei sensori, le tempistiche di acquisizione e validazione dei dati, e così via.

Queste diversità determineranno la produzione di *dataset* differenti. Di questi, quelli generati da reti di monitoraggio meteorologico conformi alle linee guida della WMO potranno accedere a livelli elaborativi avanzati, mentre gli altri saranno meno o affatto fruibili in quei contesti, ma non per questo inutili alla funzione cui erano destinati.



Fig. 1 Stazione meteorologica in situ

3.3. OSSERVAZIONI AEROPORTUALI

Tra i contesti applicativi più rilevanti di MeteoCert® rientrano sicuramente le osservazioni aeroportuali. Gli aeroporti rappresentano ambienti operativi complessi e ad alta criticità, dove la conoscenza puntuale e aggiornata delle condizioni meteorologiche riveste un ruolo fondamentale per garantire la sicurezza delle operazioni e l'efficienza complessiva dello scalo. La corretta installazione di una o più stazioni meteorologiche (*Fig. 2*) consente

il monitoraggio in continuo delle condizioni atmosferiche sul sedime aeroportuale e pone le basi per implementare un sistema di supporto alle decisioni (Decision Support System) basato su soglie operative relative a diversi parametri (vento, temperatura, stato della superficie, condizioni favorevoli alla formazione di ghiaccio, ecc.) per una gestione più efficiente e sicura delle attività a terra.



Fig. 2 Stazione meteorologica per il monitoraggio aeroportuale

3.4. OSSERVAZIONI METEO-MARINE

Tra le applicazioni speciali, di grande rilievo è quello relativo al settore marittimo nel quale le osservazioni meteo-marine svolgono un ruolo fondamentale nel supportare le operazioni offshore o costiere (es. piattaforme, rigassificatori, unità galleggianti di stoccaggio, porti, ecc.). La realizzazione di un osservatorio di monitoraggio meteo-marino (*Fig. 3*) consente infatti il monitoraggio in continuo e locale del moto ondoso (es. altezza significativa, periodo e direzione dell'onda) e dei parametri atmosferici (es. direzione e velocità del vento, visibilità, ecc.) necessari per la programmazione delle operazioni, il loro efficientamento e per la sicurezza del personale operativo.

I dati raccolti, altrimenti non accessibili in quei contesti spesso remoti, trovano impiego in un'ampia serie di applicazioni di rilievo:

- il monitoraggio in continuo delle condizioni meteo-marine a supporto delle attività operative;
- l'alimentazione di Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS);
- la verifica e l'affinamento puntuale delle previsioni a breve e brevissimo termine;
- la raccolta dati per l'elaborazione di studi di tipo climatologico e di caratterizzazione climatica del sito;
- la redazione di indagini post-evento anche a scopo tecnico-scientifico e legale-amministrativo;
- l'incremento della sicurezza delle infrastrutture, dei mezzi e del personale coinvolto nelle operazioni.

Si tratta di un settore per il quale valgono tecniche ed accorgimenti specifici, ad iniziare dalla specificità dei parametri da misurare (oltre ai consueti, il moto ondoso, le correnti, la visibilità), dai sensori da utilizzare, dal materiale che li costituisce ed anche dalla loro ubicazione.



Fig. 3 Osservatorio per il monitoraggio meteo-marino

3.5. STAZIONI VIRTUALI

Il notevole sviluppo delle osservazioni meteorologiche ed il supporto tecnologico del digitale hanno consentito l'inserimento del dato atmosferico in molti processi decisionali ed operativi che richiedono un elevato dettaglio spaziotemporale; applicazioni di questo genere possono venir sostenute da una rete la cui rappresentatività sia garantita da un elevato standard qualitativo, e quindi a norma e certificata. In tale ambito si cita il crescente utilizzo di DSS (*Decision Support System*) in agricoltura: per ridurre l'impatto ed il costo associato ai trattamenti fitopatologici, l'operatore agricolo deve disporre di un dato meteorologico specifico per il territorio in cui opera.

Una rete ben distribuita è in grado di sostenere ed alimentare, tramite i propri dati, una ulteriore rete, di maggior dettaglio, costituita da stazioni virtuali (*Fig. 4*). Si può quindi stimare il valore della variabile in qualsiasi punto del territorio, anche dove non è presente una stazione. Tale stima non si ottiene mediante una mera interpolazione geo-statistica, ma attraverso la rianalisi meteorologica, cioè un metodo che combina modelli di simulazione numerica con osservazioni reali (da stazioni meteorologiche, satelliti, radar, ecc.) al fine di determinare la particolare distribuzione spaziale dei valori della variabile meteorologica d'interesse.

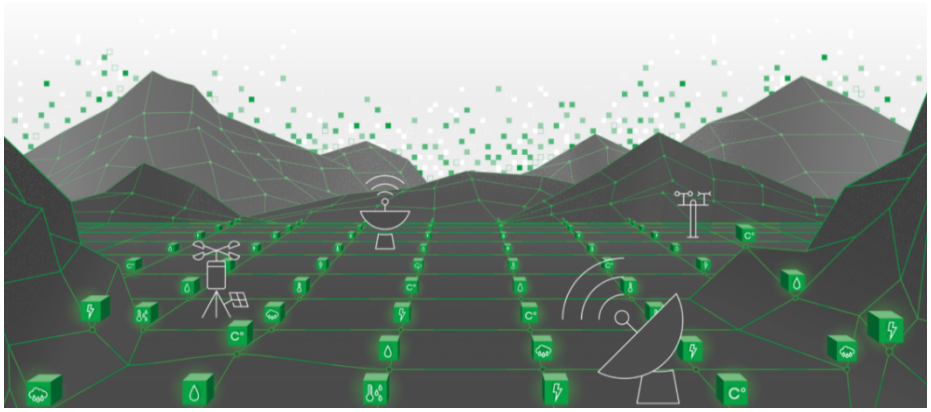


Fig. 4 L'insieme delle osservazioni costituisce il fondamento per la realizzazione di griglie di dati stimati mediante la rianalisi

4. PRINCIPI GENERALI

Scopo di MeteoCert® è quello di guidare, con indicazioni chiare ed operative, la realizzazione o la rimodulazione di un sistema di monitoraggio efficiente, costituito da stazioni che rilevino le variabili meteorologiche mediante processi di qualità, e comunque entro gli standard WMO, producendo dati adeguati, sostenibili e condivisibili. Questi scopi vengono raggiunti attraverso i seguenti passaggi:

- analisi delle linee guida della WMO in funzione dello scopo e delle finalità della rete;
- applicazione della normativa WMO idonea alla progettazione di nuove reti o al loro adeguamento in caso di reti esistenti;
- verifica ed applicazione di ogni altro livello di normativa o di certificazione necessario;
- certificazione di qualità riferita al rispetto della normativa WMO.

4.1. RIFERIMENTI WMO

La WMO è l'agenzia specializzata delle Nazioni Unite che coordina a livello mondiale la meteorologia, la climatologia e l'idrologia operativa; tra le sue missioni principali vi è la promozione della standardizzazione delle osservazioni meteorologiche. Il riferimento in materia è la *Guide to Instruments and Methods of Observation* (WMO-No. 8), Vol. I "Measurement of Meteorological Variables", nota anche come Guida CIMO[5] (WMO, 2024).

Sulla base delle raccomandazioni della Guida CIMO, la procedura sviluppata da MeteoSwiss e pubblicata dalla WMO come rapporto tecnico (*Quality Assessment using METEO-Cert: The MeteoSwiss Classification Procedure for Automatic Weather Stations*, IOM Report No. 126, WMO, 2017), individua quattro fattori da cui dipende la qualità delle misure:

- l'impiego di stazioni meteorologiche automatiche;
- l'utilizzo di sensori di elevata qualità;
- l'installazione dei sensori in siti idonei, con altezza dal suolo ed esposizione corrette;
- un adeguato livello di supervisione (manutenzione, controlli e taratura dei sensori).

In accordo con tale procedura, a ciascuna variabile misurata da ogni stazione viene attribuito un livello di conformità:

- **pienamente conforme**: tutti i requisiti della procedura, derivati dalla Guida CIMO, sono soddisfatti; incertezza minima; di norma il dato è utilizzabile sia in ambito meteorologico sia climatologico;
- **conforme**: la maggior parte dei requisiti è soddisfatta; incertezza intermedia ma accettabile per numerosi ambiti operativi, come nowcasting, allerta, alimentazione di DSS per la gestione della risorsa idrica, mitigazione degli allagamenti, agricoltura, ecc.;
- **non conforme**: alcuni requisiti importanti non sono soddisfatti; l'incertezza può essere elevata o non nota e l'idoneità del dato va valutata caso per caso.

Si sottolinea che i dati meteorologici sono raccolti in funzione di scopi specifici. La conformità agli standard WMO è necessaria in determinati ambiti: la climatologia e la costruzione di serie storiche, gli usi a valore probatorio, assicurativo o contrattuale, e i casi in cui i dati debbano essere integrati in reti conformi o certificate.
Esistono tuttavia applicazioni nelle quali i criteri di sito previsti per le stazioni sinottiche e climatologiche non sono pertinenti, perché la misura è per sua natura riferita a un ambiente specifico. È il caso, ad esempio, dell'agrometeorologia, in cui i sensori sono installati all'interno delle colture o dei frutteti e in terreni soggetti a lavorazioni, e della meteorologia urbana, in cui sono collocati sopra o in prossimità degli edifici.

Tali dati conservano comunque piena valenza operativa per lo scopo per cui sono raccolti: supporto alla gestione dell'irrigazione e dei trattamenti fitosanitari, alle scelte per la mitigazione dell'inquinamento urbano, ecc.. Non forniscono un'informazione generalizzabile a scala regionale, ma possono rappresentare in modo affidabile le condizioni di un'area circoscritta. Ciò è vero a condizione che siano rispettati gli altri requisiti di qualità (sensori adeguati, corretta supervisione, disponibilità dei dati) e che le caratteristiche del sito e dell'installazione siano documentate nei metadati, così che l'utente possa valutarne l'idoneità all'uso.

4.2. LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE E LA GESTIONE DELLE RETI

La World Meteorological Organization ha elaborato, attraverso numerose guide tecniche (WMO-No. 488, WMO-No. 100, WMO-No. 8 Vol. I e III, WMO-No. 1160, WMO-No. 1165, WMO-No. 1185 e WMO/TD-No. 1558) un insieme coerente e dettagliato di principi che devono guidare la progettazione e la gestione delle reti di stazioni a terra, sia per scopi operativi (previsione, aviazione, nowcasting) sia per il monitoraggio climatico a lungo termine.

4.2.1. Multifunzionalità e integrazione delle reti osservative

Le reti di osservazione devono essere progettate per servire contemporaneamente più aree applicative: previsione meteorologica, monitoraggio climatico, agricoltura, idrologia, aviazione, gestione dei rischi naturali e monitoraggio ambientale (WMO-No. 1160/1165, Principle 1; WMO-No. 488, cap. 3.1). È fortemente raccomandata la co-locazione di diversi tipi di stazioni (sinottiche, climatologiche, agrometeorologiche, idrologiche) e l'integrazione tra reti esistenti per massimizzare il rapporto costo-beneficio (WMO-No. 488, cap. 3.1.2; WMO-No. 1185, cap. 3.1).
Un esempio classico è l'arricchimento graduale di una stazione pluviometrica esistente fino a trasformarla in stazione sinottica completa, o l'aggiunta di sensori climatologici di alta qualità accanto a una stazione sinottica operativa.

4.2.2. Equilibrio tra esigenze nazionali, regionali e globali

Le reti sono progettate e finanziate principalmente per soddisfare le necessità nazionali, ma andrebbero inserite anche nel contesto degli impegni internazionali WMO (World Weather Watch, GCOS, GUAN, GSN, WIGOS). Ciò implica piccoli aggiustamenti (archiviazione più lunga, trasmissione più frequente, metadati più completi, politica di libero accesso ai dati) che permettono ai dati nazionali di contribuire efficacemente ai prodotti globali e regionali (WMO-No. 1160/1165, Principle 3; WMO-No. 488, cap. 3.1).

4.2.3. Densità, distribuzione e rappresentatività spaziale delle stazioni

Il numero di stazioni e la loro distribuzione non devono essere né eccessivi né insufficienti: devono essere «il minor numero possibile, ma il maggior numero necessario» per raggiungere gli obiettivi prefissati (principio di economicità – WMO-No. 488, cap. 3.1.1 (c)).
La densità ottimale dipende da:

- estensione e complessità orografica del territorio;
- grado di variabilità spaziale e temporale di ciascun elemento meteorologico (la temperatura richiede generalmente una densità inferiore rispetto alle precipitazioni o al vento);
- obiettivi della rete (previsione operativa, monitoraggio climatico, studio di fenomeni locali).

La WMO fornisce tabelle indicative di densità minima nel Manual on WIGOS (WMO-No. 1160), ma raccomanda anche metodi più avanzati: identificazione di regioni climatiche omogenee, analisi di correlazione spaziale, kriging,

analisi di ridondanza tramite matrice di covarianza, regressione multipla o esperimenti di simulazione di sistemi osservativi (WMO-No. 1185, cap. 6.1; WMO-No. 100, cap. 2.3).
Particolare cura deve essere posta nelle aree montane, costiere o urbane, dove la variabilità locale è elevata e la rappresentatività di una singola stazione è limitata (WMO-No. 8 Vol. III, cap. 9.1.1.2).

4.2.4. Omogeneità e continuità delle serie storiche

Per il rilevamento delle tendenze climatiche, l'omogeneità delle serie è più importante dell'accuratezza assoluta del singolo dato. Eventuali discontinuità introdotte da cambiamenti di strumento, di sito o di procedure possono generare falsi segnali di tendenza anche di entità superiore al segnale climatico reale (WMO/TD-No. 1558; WMO-No. 1185, cap. 3.1–3.4; WMO-No. 100, cap. 2.2).
Le misure raccomandate per preservare l'omogeneità sono:

- mantenere in funzione il più a lungo possibile le stazioni con serie storiche ininterrotte, specialmente quelle appartenenti alle reti GCOS (GSN, GUAN) o designate come Reference Climate Stations;
- valutare preventivamente l'impatto di ogni modifica (strumenti, schermo, altezza sensori, algoritmi di elaborazione, orario di osservazione);
- garantire un periodo di osservazioni parallele (overlap) tra vecchio e nuovo sistema di almeno 1 anno, preferibilmente 2 anni (WMO-No. 1185, cap. 3.2; WMO/TD-No. 1558, Annex A1);
- documentare con la stessa cura riservata ai dati tutti i dettagli di sito, strumenti, esposizione, calibrazioni, manutenzione e cambiamenti ambientali (metadati completi, fotografie da nord, sud, est e ovest aggiornate periodicamente (WMO-No. 8 Vol. I, Annex 1.F; WMO-No. 1160/1165, Principle 10).

4.2.5. Qualità, calibrazione e tracciabilità

Tutti gli strumenti devono essere selezionati in base a requisiti di accuratezza, precisione, stabilità a lungo termine, robustezza e idoneità all'ambiente operativo (climi estremi, alta umidità, neve, sabbia, sale marino).
Le calibrazioni devono essere tracciabili agli standard internazionali SI o a standard di riferimento riconosciuti (WMO-No. 8 Vol. I, Annex 1.B). Non è sufficiente affidarsi alle calibrazioni di fabbrica: è necessario un programma regolare di verifiche in campo.
La manutenzione preventiva, le ispezioni periodiche e il controllo di qualità in tempo reale e differito sono indispensabili per evitare derive strumentali e perdita di dati (WMO-No. 100, cap. 2.3.4; WMO-No. 8 Vol. I, cap. 1.3.5).

4.2.6. Gestione pianificata del cambiamento tecnologico e della transizione

Ogni sostituzione di sensori, passaggio a stazioni automatiche, spostamento anche di pochi metri o modifica dell'ambiente circostante deve essere accompagnato da un piano di gestione del cambiamento che includa:

- analisi di impatto;
- periodo di osservazioni parallele;
- produzione documentazione;
- eventuale correzione retrospettiva delle serie storiche (WMO-No. 1160/1165, Principle 12; WMO-No. 1185, cap. 6).

4.2.7. Sostenibilità a lungo termine delle reti

Le reti devono essere progettate per essere finanziariamente e operativamente sostenibili per decenni. Ciò implica:

- transizione graduale dei sistemi di ricerca verso lo stato operativo;
- formazione continua del personale;

- piani di manutenzione pluriennali.

4.2.8. Priorità per aree e parametri critici

Alta priorità deve essere data a:

- regioni con scarsità di dati;
- parametri poco osservati o difficili da misurare con accuratezza;
- aree particolarmente sensibili al cambiamento climatico o ad alto rischio meteorologico (WMO-No. 1160, WMO-No. 1185, cap. 3.7).

4.2.9. Rappresentatività del sito e corretta esposizione degli strumenti

La qualità di un'osservazione può dipendere più dall'esposizione che dalla precisione dello strumento stesso (WMO-No. 8 Vol. I, cap. 1.1.2).
Il sito deve essere rappresentativo della scala spaziale che si intende descrivere (microscala, scala locale, mesoscala) e deve evitare effetti microclimatici indesiderati (vicinanza di edifici, alberi, asfalto, specchi d'acqua).
Temperatura, precipitazione e vento sono gli elementi più sensibili all'esposizione: anche piccoli cambiamenti (crescita di vegetazione, nuova recinzione, parcheggio) possono introdurre bias significativi. Ogni modifica deve essere immediatamente registrata e fotografata (WMO-No. 8 Vol. I, cap. 2.1.3.4; Annex 1.F).

4.3. ALTRE NORMATIVE RILEVANTI

Oltre alle linee guida WMO, esistono altre norme specifiche che riguardano le stazioni e le reti meteorologiche. Tra le più rilevanti citiamo:

- la norma ISO 19289, 2015 "*Air quality - Meteorology - Siting classifications for surface observing stations on land*" che riprende in toto il "*Siting Classifications for Surface Observing Stations on Land*" (WMO-No. 8, 2024), Volume I, Capitolo 1, Allegato 1D, illustrato più avanti in questo testo;
- la norma UNI EN 17277:2020 "Idrometria - Requisiti di misurazione e classificazione degli strumenti pluviometrici per la misura dell'intensità di precipitazione", che considera il parametro precipitazione e definisce le procedure e la strumentazione per eseguire prove in laboratorio e in campo, in condizioni stazionarie, a fini di taratura, verifica e conferma metrologica degli strumenti di misura, arrivando a classificare i pluviometri sulla base delle loro prestazioni in laboratorio.

Inoltre, la corretta realizzazione della rete di monitoraggio non può prescindere dal rispetto della normativa di armonizzazione dell'Unione europea in materia di marcatura CE, ossia delle direttive e dei regolamenti che definiscono i requisiti essenziali obbligatori per l'immissione sul mercato dei prodotti. Per le stazioni meteorologiche automatiche e i relativi componenti sono rilevanti in particolare:

- Direttiva Bassa Tensione 2014/35/UE (LVD): disciplina la sicurezza del materiale elettrico destinato a essere utilizzato a una tensione nominale compresa fra 50 e 1000 V in corrente alternata e fra 75 e 1500 V in corrente continua. Si applica quindi alle parti alimentate da rete, come alimentatori e quadri a 230 V. Non si applica invece ai circuiti a bassissima tensione, tipici delle stazioni alimentate da pannello fotovoltaico e batteria a 12 o 24 V;
- Direttiva Compatibilità Elettromagnetica 2014/30/UE (EMC): riguarda le apparecchiature elettriche ed elettroniche che possono generare perturbazioni elettromagnetiche o il cui funzionamento può essere influenzato da perturbazioni generate da altre sorgenti. Per una stazione meteorologica è un requisito

importante anche dal punto di vista della qualità del dato, perché i disturbi possono alterare i segnali dei sensori e la trasmissione;

- Direttiva Apparecchiature Radio 2014/53/UE (RED): si applica alle stazioni dotate di modem radio o cellulari (ad es. 4G/LTE, NB-IoT, LoRa, ponti radio). Per le apparecchiature che rientrano nel suo campo di applicazione, la RED comprende anche gli obiettivi di sicurezza elettrica e di compatibilità elettromagnetica, che altrimenti sarebbero coperti dalle direttive LVD ed EMC. Dal 1° agosto 2025, inoltre, le apparecchiature radio connesse a Internet devono soddisfare anche i requisiti di cibersicurezza introdotti dal Regolamento delegato (UE) 2022/30. Quando un modulo radio viene integrato nella stazione, la conformità del prodotto finale resta responsabilità del fabbricante della stazione;
- Direttiva RoHS 2011/65/UE, come modificata dalla Direttiva delegata (UE) 2015/863: limita l'uso di sostanze pericolose (piombo, mercurio, cadmio, cromo esavalente, alcuni ritardanti di fiamma e ftalati) nelle apparecchiature elettriche ed elettroniche. Gli strumenti di monitoraggio e controllo, tra cui rientrano le stazioni meteorologiche, sono compresi nel suo campo di applicazione;

Del rispetto di queste normative si fa carico il fabbricante, che redige la dichiarazione UE di conformità e appone la marcatura CE. L'installatore deve garantire una messa in opera conforme alle istruzioni del fabbricante. È comunque bene che il progettista richieda nel capitolato il rispetto dell'intero insieme di normative applicabili e la consegna delle relative dichiarazioni di conformità.

Si ritiene infine di sottolineare l'importanza che tutti gli impianti siano dotati di messa a terra, ossia di un sistema volto a portare gli elementi metallici che costituiscono la stazione meteorologica al potenziale elettrico del terreno (D.Lgs. n. 81/2008, D.M. n. 37 del 22 gennaio 2008, norma CEI 64-8/4) proteggendo persone e animali dal rischio folgorazione; la mancanza di tale impianto pregiudica gli interventi di manutenzione, che la ditta appaltatrice può rifiutarsi di realizzare per carenza di sicurezza.

5. CARATTERISTICHE DEI SENSORI E DEI SITI

5.1. SENSORI AUTOMATICI E DI QUALITÀ

Il mercato meteorologico propone soluzioni sempre più avanzate e funzionali della sensoristica meteorologica. È evidente che in questa famiglia non sono compresi gli strumenti meccanici registratori (termoigrografi, pluviografi, barografi), i cui diagrammi andavano raccolti e digitalizzati; si tratta di strumenti che hanno svolto un ruolo importante dal punto di vista della storicità della stazione e hanno raccolto un patrimonio significativo di dati, ma che oggi sono ampiamente sorpassati. Il processo MeteoCert® garantisce quindi che i sensori siano scelti in base ad una attenta verifica delle caratteristiche obbligatoriamente indicate nelle schede tecniche, e ad un equilibrio fra i costi di investimenti, quelli di gestione e le risorse disponibili o che si rendessero disponibili grazie all'uso dei dati della rete. A titolo di esempio, va accertato che la sensoristica sia adatta all'uso in pieno campo e con un *range* di operatività compatibile con le possibilità climatiche del sito, e che sia inoltre caratterizzata da un'incertezza operativa di misura non superiore ai limiti indicati dalla *CIMO Guide* (WMO, 2024) o dalla "*Sustained Performance Classification for Surface Observing Stations on Land*" (WMO, Leroy, 2013).
In *Tab. 1* vengono indicati i limiti di incertezza di misura ottenibili nella pratica operativa per diverse variabili meteorologiche.

Variabile Meteorologica	Pienamente conforme (Allegato 1.A del WMO-No. 8)	Conforme Class C (Leroy, 2013)
Temperatura	0.2 °C	1 °C
Umidità relativa	3% UR	10% UR
Precipitazione	5 %	10 %
Pressione	0.15 hPa	1 hPa
Velocità del vento	10 %	15 %
Direzione del vento	5°	10°
Radiazione globale	5 %	10 %
Eliofania	2 %	10 %

Tab. 1 Limiti massimi per incertezza operativa di misura

5.2. SITO DI MISURA, ALTEZZA DAL SUOLO ED ESPOSIZIONE DEI SENSORI

La scelta delle migliori stazioni meteorologiche non è criterio sufficiente per ottenere una rete meteorologica di elevata qualità. Poiché il valore del dato rilevato dipende sensibilmente dall'esposizione dello strumento all'atmosfera, è infatti necessaria una corretta scelta del sito di rilevamento e della collocazione dei vari sensori, con particolare riguardo alla distanza dagli ostacoli.
Tutte le stazioni della rete di monitoraggio dovranno pertanto soddisfare i criteri indicati dalle linee guida WMO, riguardanti:

- classificazione del sito;
- altezza dei sensori dal suolo;
- esposizione degli strumenti.

5.2.1. Classificazione del sito

Le caratteristiche del sito di misura (ostacoli, superfici artificiali, sorgenti di calore, pendenze, vegetazione) possono influenzare in modo significativo i risultati della misurazione. Per questo devono essere valutate e documentate, così da conoscere la rappresentatività del dato e i possibili effetti distorsivi.

Il riferimento più ampiamente accettato a tale scopo è la classificazione dei siti WMO/ISO, pubblicata come norma ISO 19289:2015 *"Air quality – Meteorology – Siting classifications for surface observing stations on land"* e come allegato della Guida CIMO (WMO-No. 8, 2024, Vol. I, Cap. 1, Allegato 1.D).

La classificazione assegna a ogni sito una classe da 1 a 5, distintamente per ciascuna variabile misurata: lo stesso sito può quindi risultare idoneo per una variabile e meno per un'altra.

Nello schema MeteoCert®, coerentemente con i livelli di conformità descritti in precedenza, alle classi di sito si associano i seguenti livelli:

- sito di classe 1: pienamente conforme;
- sito di classe 2: pienamente conforme;
- sito di classe 3: conforme;
- sito di classe 4: non conforme;
- sito di classe 5: non conforme.

Un sito di classe 1 può essere considerato un sito di riferimento. In un sito di classe 5, invece, ostacoli o altri elementi nelle immediate vicinanze creano condizioni inadatte a una misura che debba essere rappresentativa di un'area ampia.

Per le stazioni installate in ambienti particolari (ambito urbano, agrometeorologia, strade, impianti produttivi), che ricadono spesso nelle classi 4 o 5, la norma prevede di aggiungere al numero di classe il flag "S" (ad es. 4S). Il flag segnala che la misura è rappresentativa di un ambiente o di un'applicazione specifico.

Poiché le condizioni del sito possono cambiare nel tempo (crescita della vegetazione, nuove costruzioni), la classificazione va verificata periodicamente.

Le Figg. 5, 6 e 7 sintetizzano i requisiti per la classe 2, e quindi per il livello "pienamente conforme", rispettivamente per temperatura e umidità, precipitazione e vento.

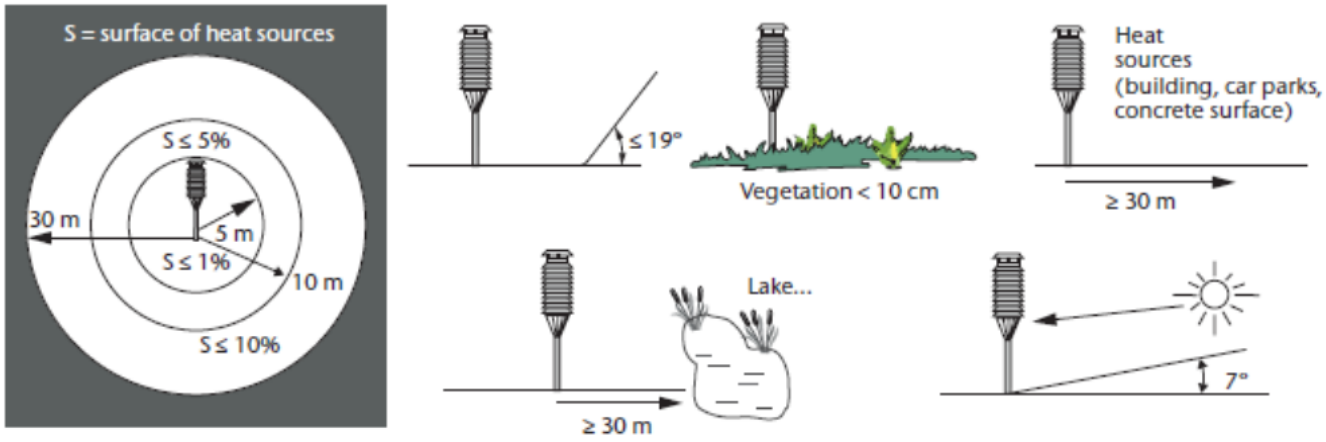


*Fig. 5 Temperatura e umidità, criteri per classe 2 (*WMO-No. 8*, 2024, Vol. I, Cap.1, Allegato 1.D), pienamente conforme.*

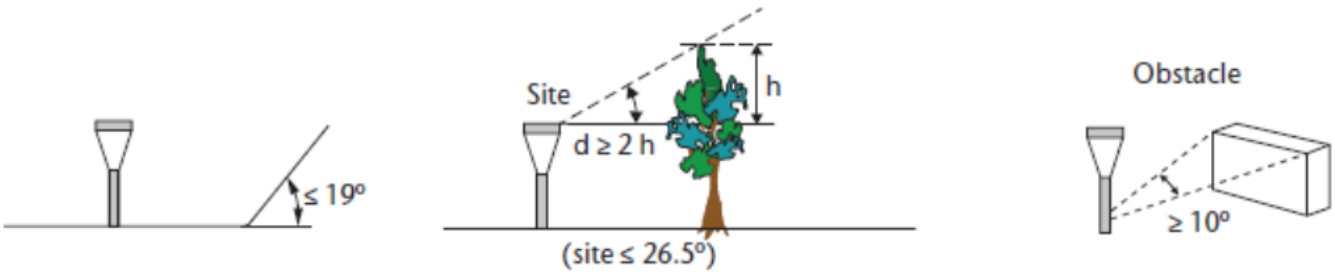


*Fig. 6 Precipitazione, criteri per classe 2 (*WMO-No. 8*, 2024, Vol. I, Cap.1, Allegato 1.D), pienamente conforme*

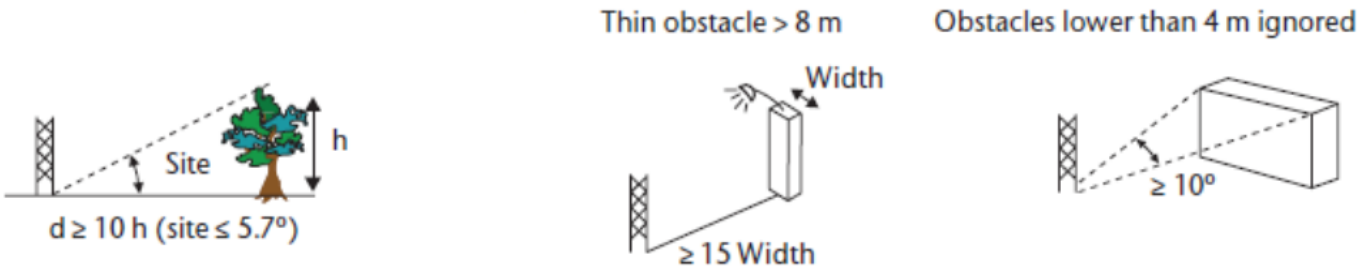


*Fig. 7 Vento, criteri per classe 2 (*WMO-No. 8*, 2024, Vol. I, Cap.1, Allegato 1.D), pienamente conforme*

5.2.2. Altezza dei sensori dal suolo

La Guida CIMO (WMO, 2024) raccomanda le altezze dal suolo a cui eseguire le misure, in alcuni casi indicando degli intervalli: ad esempio 1,25-2 m per temperatura e umidità, 0,5-1,5 m per la precipitazione e 10 m su terreno aperto e pianeggiante per il vento. Sulla base di tali raccomandazioni e delle prassi adottate da servizi meteorologici nazionali, MeteoCert® adotta come riferimento i valori riportati in Tab. 2. Per il vento, in terreni con rugosità maggiore, l'altezza di misura deve essere adeguata alle caratteristiche del terreno.

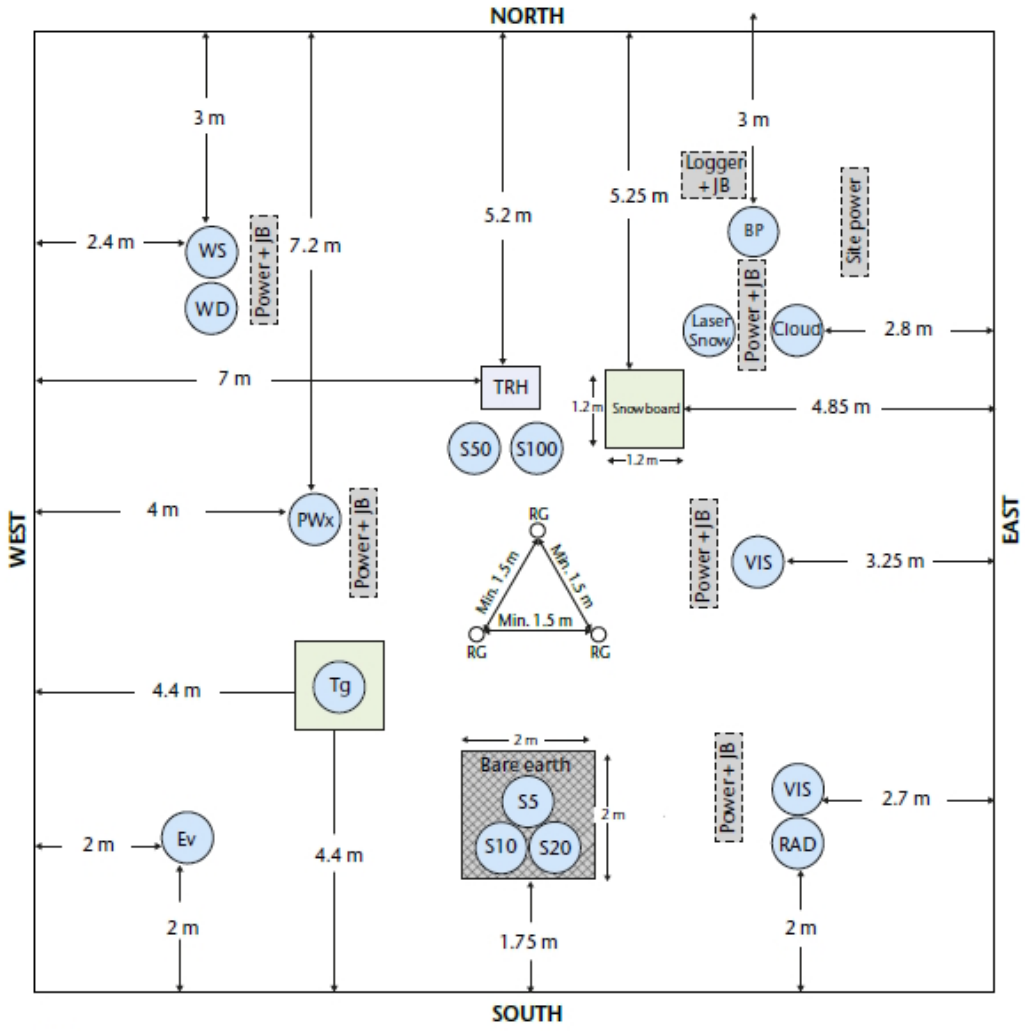
Variabile Meteorologica	Pienamente conforme	Conforme
Temperatura e Umidità	2 m (± 10%)	1.25 – 3 m
Precipitazione	1.5 m (± 10%)	0.5 – 3 m
Vento	10 m su terreno aperto e pianeggiante (più in alto su terreni accidentati - regola empirica: 10 m al di sopra della rugosità "media" del terreno)	

Tab. 2 Altezza Altezze di misura dal suolo adottate in MeteoCert®

La Guida CIMO raccomanda inoltre di installare gli strumenti al di sopra della massima altezza prevista del manto nevoso: nelle stazioni di montagna sono quindi ammesse altezze superiori. Per applicazioni specifiche, come l'agrometeorologia, le altezze di misura seguono le indicazioni proprie dell'applicazione (WMO-No. 134) e devono essere documentate nei metadati della stazione.

5.2.3. Esposizione degli strumenti

La *Fig. 8* illustra una distribuzione ottimale degli strumenti all'interno dell'area della stazione meteorologica; in essa ogni sensore è esposto correttamente alle condizioni ambientali. Nella installazione delle stazioni l'aspetto più importante consiste comunque nell'accertarsi che non vi siano interferenze da ostacoli circostanti presenti o futuri (edifici, siepi, alberature).



Notes

BP	Barometric pressure
Ev	Evaporation
JB	Junction Box for data
PWx	Present weather
RG	Raingauge
RAD	Solar radiation (pyranometer)
S5	Soil temperature 5 cm
S10	Soil temperature 10 cm
S20	Soil temperature 20 cm
S50	Soil temperature 50 cm
SUN	Sunshine duration
Tg	Grass temperature
TRH	Air temperature and relative humidity in radiation shield
VIS	Meteorological optical range (visiometer)
WS	Wind speed
WD	Wind direction

Fig. 8 Layout di una stazione meteorologica che mostra le distanze tipiche tra i sensori e il recinto - CIMO Guide (WMO, 2024)

Di seguito si elencano, per ogni diverso sensore, alcune indicazioni basilari della *CIMO Guide* (WMO, 2024):

- temperatura e umidità: lo strumento è libero da interferenze (almeno per un raggio di 2 m) e non è fissato al muro. L'alloggiamento è bianco e intatto, superficie sottostante naturale e mantenuta a erba bassa;
- vento: il palo è diritto e abbastanza forte da sopportare le raffiche estreme, orientamento del nord verificato;
- precipitazioni: il palo è dritto, l'imboccatura è orizzontale, lo strumento non è installato su un tetto e non è coperto da oggetti o strumenti vicini;
- radiazione ed eliofania: lo strumento è libero da interferenze ed in posizione livellata, l'alloggiamento è intatto.

5.3. SUPERVISIONE

La qualità e l'affidabilità dei dati di una rete di monitoraggio possono essere mantenute nel tempo solo mediante una corretta e sistematica attività di supervisione. La Guida CIMO (WMO, 2024) raccomanda che gli strumenti siano mantenuti, controllati e calibrati regolarmente, ma non fissa frequenze specifiche, che vengono lasciate ai gestori in funzione del tipo di sistema, delle condizioni ambientali e della strumentazione installata.

MeteoCert®, in linea con le prassi adottate da servizi meteorologici nazionali (cfr. IOM Report No. 126, WMO, 2017), articola la supervisione in cinque attività:

- **calibrazione**: effettuata a intervalli definiti (ogni 5 anni) in un laboratorio accreditato; in alternativa, sostituzione dello strumento;
- **verifica in campo**: misure di confronto eseguite almeno una volta all'anno dal gestore della stazione o da una ditta incaricata (ad es. verifica del pluviometro con un volume d'acqua noto);
- **manutenzione**: controllo visivo e pulizia regolare degli strumenti da parte del custode, possibilmente una volta ogni quattro settimane, e segnalazione al gestore di eventuali anomalie;
- **misura parallela**: un secondo strumento installato presso la stazione fornisce dati ridondanti;
- **controllo di qualità dei dati**: i valori misurati vengono validati quotidianamente; valori anomali ed errori di misura vengono segnalati automaticamente al gestore e danno luogo ai necessari interventi di manutenzione.

Il livello di supervisione di una stazione è considerato:

- pienamente conforme, se sono svolte in modo continuativo almeno tre delle attività elencate;
- conforme, se ne sono svolte due;
- non conforme, se ne è svolta una o nessuna.

6. PROGETTAZIONE DI UNA NUOVA RETE

Vengono di seguito descritte le attività progettuali necessarie per la realizzazione, all'interno del processo guidato da MeteoCert®, di una rete di monitoraggio a norma e certificabile, una volta che ne siano stati definiti con chiarezza lo scopo e l'area da monitorare.

6.1. ANALISI DELLE RETI ESISTENTI

L'analisi delle reti esistenti ha lo scopo di individuare le stazioni di reti ufficiali (es. ARPA, Centri Funzionali di Protezione Civile, Aeronautica Militare) i cui dati sono disponibili con licenza aperta (es. CC BY 4.0, IODL 2.0), quindi integrabili con la rete di nuova realizzazione. Tali stazioni saranno prese in considerazione per la definizione della densità di copertura del territorio e per l'ubicazione delle nuove stazioni.

name	city	district	latitude	longitude	altitude	rete	temp	rh	slp	prec
Siena Poggio al Vento	Siena	Siena	43.32	11.313	301	SIR	si	si	no	si
Monte Castellino	Sillano	Lucca	44.2359	10.3326	858	SIR	no	no	no	si
Villacollemandina	Villa Collemandina	Lucca	44.1593	10.3861	502	SIR	no	no	no	si
Poggibonsi	Poggibonsi	Siena	43.4715	11.1288	88	SIR	si	si	no	si
Laterina	Pergine Valdarno	Arezzo	43.51	11.709	201	SIR	no	no	no	no
Empoli	Empoli	Firenze	43.724	10.9462	25	SIR	si	no	no	si
Pieve di Compito	Capannori	Lucca	43.78	10.5894	38	SIR	si	si	no	si
Montalcinello	Chiusdino	Siena	43.2031	11.0766	380	SIR	no	no	no	si
Monte Pisano Nord	Capannori	Lucca	43.794	10.5224	216	SIR	si	si	no	si
Treppio	Sambuca Pistoiese	Pistoia	44.075	11.0348	726	SIR	si	no	no	si
Borgo S. Lorenzo	Borgo San Lorenzo	Firenze	43.9862	11.3897	280	SIR	si	si	no	si
Giogo	Firenzuola	Firenze	44.0474	11.3893	880	SIR	si	si	no	si
Firenze Orto Botanico	Firenze	Firenze	43.78	11.261	57	SIR	si	si	no	si
Villa dell Olio	Loro Ciuffenna	Arezzo	43.5918	11.6047	300	SIR	no	no	no	si
Trappola	Loro Ciuffenna	Arezzo	43.619	11.6526	869	SIR	si	si	no	si
Capalbio	Capalbio	Grosseto	42.4054	11.3916	12	SIR	si	si	no	si
Ponte via Chiavaccini	Pontedera	Pisa	43.619	10.644	22	SIR	no	no	no	no
Castellina in Chianti	Castellina in Chianti	Siena	43.4732	11.2884	572	SIR	si	si	no	si
Castellina Marittima	Rosignano Marittimo	Livorno	43.4063	10.4908	27	SIR	no	no	no	no
Casciana Terme	Casciana Terme	Pisa	43.527	10.613	147	SIR	si	no	no	si



Fig. 9 Esempio - anagrafica e rappresentazione spaziale delle stazioni con dati orari open per la regione Toscana

6.2. INDAGINE DI MERCATO

Consulenza rivolta alla preselezione del fornitore, delle stazioni, dei sensori e dei materiali mediante valutazioni tecniche (condizioni ambientali di esercizio, finalità della rete, qualità dei materiali, ecc.) ed economiche, nel rispetto delle linee guida WMO (accuratezza, *range* di misura, ecc.);

6.3. MACRO-UBICAZIONE

Processo tramite il quale si giunge alla definizione delle aree di nuova installazione. L'orografia (DEM), la copertura del suolo (Land Cover), la densità delle stazioni esistenti e la loro precisa ubicazione sono i principali parametri che alimentano l'algoritmo utilizzato per la definizione delle aree di possibile installazione. Il percorso si concluderà sovrapponendo le aree individuate con le proprietà del cliente o dei soggetti disponibili ad ospitare le stazioni meteorologiche.

A titolo di esempio, di seguito si descrivono i passaggi dell'algoritmo di macro-ubicazione utilizzato per la realizzazione di una rete agro-meteorologica ad alta densità sul territorio regionale della Toscana.

L'algoritmo parte dall'analisi delle informazioni di uso del suolo (*Fig. 10*) e di orografia (*Fig. 11*) per escludere le aree montane (oltre i 1.000 m di quota) e quelle non agricole, come le zone urbane. Il territorio viene quindi suddiviso in macro-celle di 0,03° × 0,03° (circa 9 km^2). Per ogni macro-cella contenente superficie agricola (le altre vengono escluse) viene calcolata la densità di copertura delle stazioni esistenti rapportata alla superficie agricola presente. Sulla base dell'obiettivo di progetto, fissato in 4 stazioni ogni 9 km^2 di superficie agricola (equivalente a circa 0,44 stazioni/km^2), il modello determina il numero di nuove stazioni consigliate per ciascuna macro-cella: nessuna nuova stazione (nessun riempimento), una nuova stazione (colore azzurro), due nuove stazioni (giallo), tre nuove stazioni (rosso) o quattro nuove stazioni (viola). Infine, l'informazione viene restituita a un livello di dettaglio superiore, passando dalle macro-celle ai quadranti di 500 m × 500 m (*Fig. 12a, b*), in modo da fornire indicazioni operative più precise per la fase successiva di micro-ubicazione.

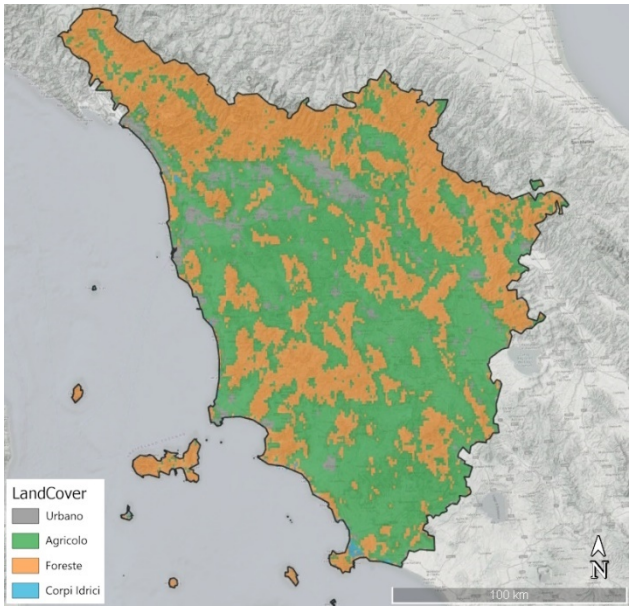


Fig. 10 Toscana - Land Cover

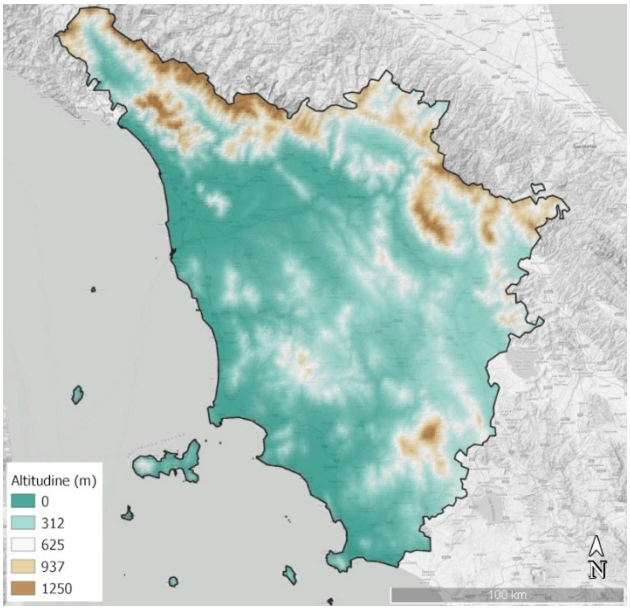


Fig. 11 Toscana - Digital elevation model

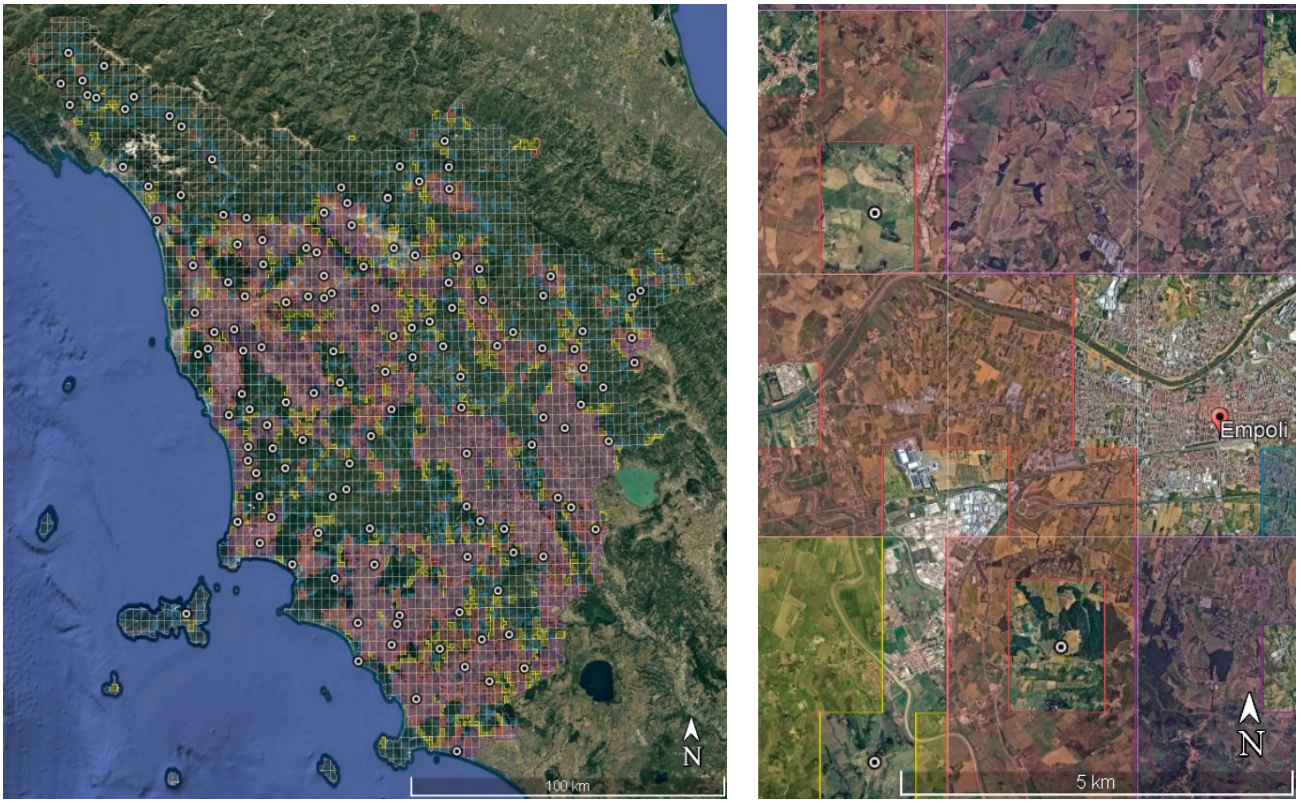


*Fig. 12 Toscana: **a.** macro-ubicazione per rete agrometeorologica ad alta densità; **b.** dettaglio macro-celle di 0.03° x 0.03° azzurre, gialle, rosse o viola a seconda del numero di nuove stazioni che possono ospitare (rispettivamente 1, 2, 3 e 4), a loro volta suddivise in celle da 500m x 500m, vuote nel caso ricadano in zona non agricola o già monitorata da stazioni esistenti.*

6.4. MICRO-UBICAZIONE

Le condizioni ambientali possono influenzare i risultati della misurazione, esse quindi devono essere analizzate attentamente mediante un opportuno sopralluogo per la valutazione del sito e della precisa definizione del punto

di installazione (distanze da ostacoli, fonti di calore, rappresentatività, accessibilità ecc.) in conformità con le indicazioni della WMO (Cap. 5.2.1) e in accordo con il proprietario del terreno.



Fig. 13 Sopralluogo con rilevazione dell'altezza degli ostacoli rispetto all'orizzonte mediante l'utilizzo di livella elettronica

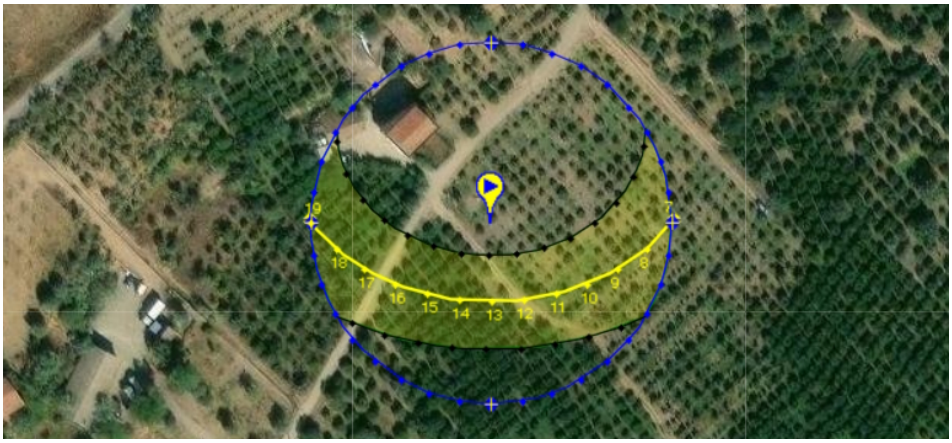


Fig. 14 Percorso solare alla data del sopralluogo; in giallo viene evidenziata la fascia che rappresenta l'altezza angolare del sole dal solstizio d'inverno (margine basso) al solstizio d'estate (margine alto). Tale informazione, insieme all'altezza degli ostacoli rispetto all'orizzonte, viene utilizzata per collocare correttamente i sensori di temperatura, radiazione ed eliofania .

6.5. INDICAZIONI TECNICHE ESECUTIVE E SUPERVISIONE LAVORI

- Definizione delle modalità di:
  - alimentazione delle stazioni;
  - trasmissione dei dati;
  - supervisione delle stazioni;
  - validazione dei dati.
- Consegna delle indicazioni tecniche esecutive relative all'ubicazione della stazione, all'esposizione dei sensori e alla loro altezza dal suolo (*Figg. 15 e 16*);
- Supervisione e supporto durante la realizzazione dei lavori;
- Verifica delle forniture;
- Verifica della corretta installazione di ogni sensore in ottemperanza alle linee guida WMO (altezza dal suolo, esposizione, distanze reciproche, ecc.).

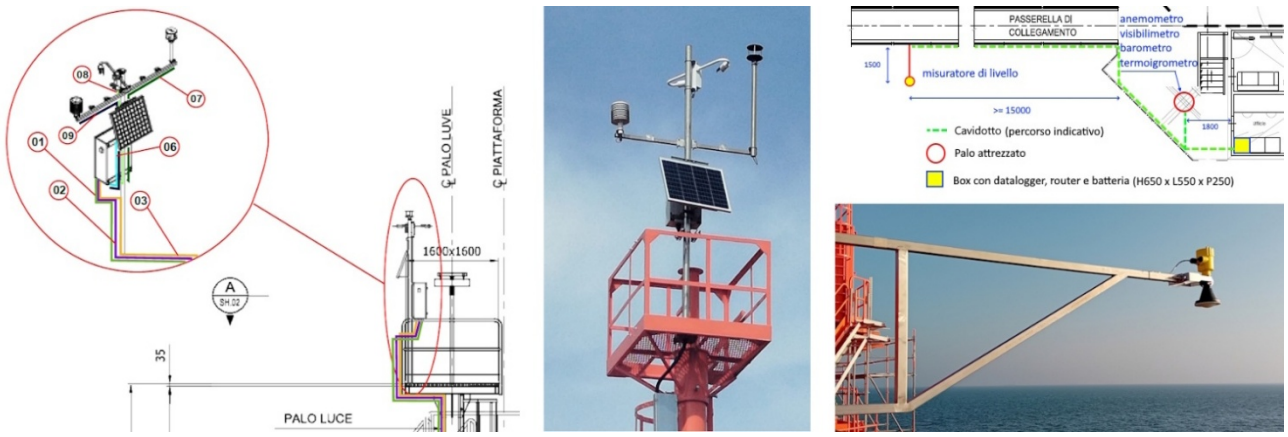


Fig. 15 Esempio di indicazioni tecniche esecutive per la messa in posa di stazione meteo-marina su piattaforma off-shore



Fig. 16 Esempio di indicazioni tecniche esecutive per la messa in posa di stazione agrometeorologica - ubicazione

6.6. ASSISTENZA AMMINISTRATIVA

- Supporto nella redazione dei capitolati necessari per l'acquisto della strumentazione;
- Consulenza nella redazione dei contratti di comodato d'uso del terreno con la proprietà.

6.7. SCHEDA DI PRE-CERTIFICAZIONE

Al termine dell'installazione, per ogni singola stazione viene prodotta una scheda tecnica finale con descrizione delle caratteristiche della stazione e classificazione del sito, analisi delle interferenze tra oggetti e rilevazioni, valutazione di conformità (*Fig. 17*). Tale documento, opportunamente integrato, sarà alla base del successivo eventuale processo di certificazione (Cap. 9).

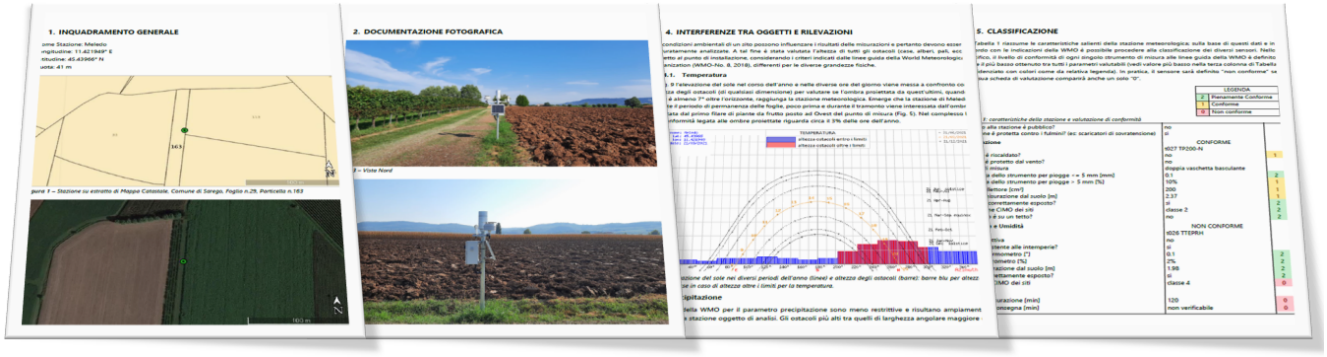


Fig. 17 Alcuni elementi della relazione tecnica finale (scheda di pre-certificazione): inquadramento generale, documentazione fotografica, analisi delle interferenze tra oggetti e rilevazioni, classificazione, valutazione di conformità, ecc.

7. RIMODULAZIONE E MESSA A NORMA DI UNA RETE ESISTENTE

Vengono di seguito descritte le attività necessarie per adeguare, rimodulare ed eventualmente integrare una rete esistente così come definite all'interno di MeteoCert®.

7.1. ANALISI DELLO STATO DI FATTO DELLA RETE E VALUTAZIONE DI QUALITÀ DELLE STAZIONI

- Raccolta delle informazioni riguardanti le singole stazioni:
  - coordinate del sito e quota;
  - marca e modello;
  - variabili meteorologiche misurate;

- data di installazione e storia degli interventi;
- modalità di alimentazione e trasmissione;
- frequenza di campionamento e trasmissione;
- intervalli e algoritmi di media (es. media su 10 minuti per il vento);
- stato di servizio ed usura.

- Verifica della qualità dei materiali e della strumentazione, definendo il grado di conformità di ogni sensore secondo le linee guida WMO.

7.2. ANALISI DELLE ALTRE RETI ESISTENTI

L'analisi delle altre reti esistenti ha lo scopo di individuare le stazioni ufficiali e certificate (es: ARPA, Protezione Civile, AM) che forniscono dati con licenza CC BY 4.0, quindi integrabili con la rete che si intende rimodulare e mettere a norma. Tali stazioni saranno prese in considerazione nel processo di macro-ubicazione (Cap. 6.3) e quindi nell'eventuale ricollocamento delle stazioni esistenti.

7.3. SOPRALLUOGO E CLASSIFICAZIONE DEL SITO DI MISURA

Le condizioni ambientali di un sito possono influenzare i risultati della misurazione, esse quindi devono essere analizzate attentamente mediante un opportuno sopralluogo. Durante l'ispezione, sulla base delle linee guida WMO, si procede alla classificazione del sito (distanze da ostacoli, fonti di calore, rappresentatività, accessibilità, ecc.) e alla valutazione dell'esposizione dei sensori. In accordo con il gestore della rete e il proprietario del terreno, si valutano gli interventi necessari per la messa a norma.

7.4. INDICAZIONI TECNICHE ESECUTIVE E SUPERVISIONE LAVORI

- Consegna della relazione tecnica generale con le indicazioni degli interventi per la messa a norma o ricollocamento delle stazioni (*Fig. 18a,b e 19*);
- Supervisione e supporto durante la realizzazione dei lavori (*Fig. 20*);
- Verifica degli interventi richiesti e della corretta installazione di ogni sensore in ottemperanza alle linee guida WMO (altezza dal suolo, esposizione, distanze reciproche, ecc.).

7.5. SCHEDA DI PRE-CERTIFICAZIONE

Al termine dell'intervento di messa a norma o ricollocamento, per ogni singola stazione viene prodotta una scheda tecnica finale con descrizione delle caratteristiche della stazione e classificazione del sito, analisi delle interferenze tra oggetti e rilevazioni, valutazione di conformità. Tale documento, opportunamente integrato, sarà alla base del successivo eventuale processo di certificazione (Cap. 9)



Fig. 18a Stazione meteorologica, posizione attuale ( ) e ipotesi di ricollocamento ( )



Fig. 18b Punto di possibile ricollocamento della stazione meteorologica, indicazione su fotografia.

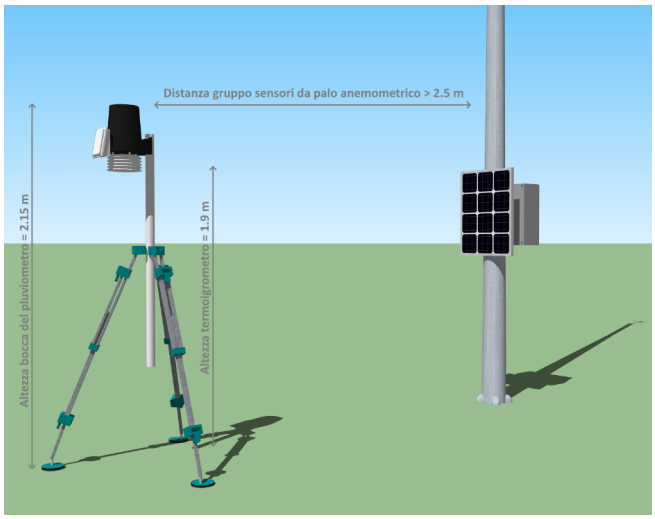


Fig. 19 Esempio di indicazioni tecniche per la messa in posa



Fig. 20 Supervisione durante una fase dell'installazione

8. CONTROLLO E VALIDAZIONE DEI DATI

Tra le cinque azioni di supervisione previste da MeteoCert® (Cap. 5.3), il controllo quotidiano della qualità dei dati è senz'altro una delle principali, in quanto:

- concorre alla conformità WMO della stazione;
- consente di individuare più rapidamente i malfunzionamenti delle stazioni;
- consegna all'utente un dato di qualità controllata.

L'attività si basa su algoritmi automatici e sulla verifica manuale dei dati, secondo lo schema di *Fig. 21*. I controlli riguardano precipitazione, temperatura, umidità, vento, pressione e radiazione solare.

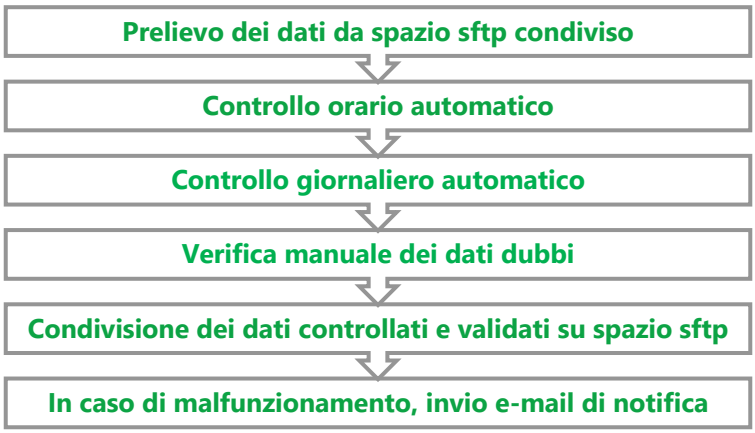


Fig. 21 Schema di flusso del processo di controllo, validazione e notifica

8.1. FAMIGLIE DI TEST

I test automatici non cancellano né correggono il dato originale, ma gli associano un indicatore di qualità:

- **limiti fisici e climatologici:** il valore deve rientrare nel campo fisicamente possibile e nelle soglie climatologiche della stazione. Il superamento di queste ultime rende il dato sospetto, non necessariamente errato;
- **variazione temporale e persistenza**: si segnalano salti non plausibili tra valori consecutivi e valori invariati troppo a lungo, come un sensore bloccato o un anemometro ghiacciato;
- **coerenza interna**: le variabili della stessa stazione devono essere compatibili tra loro (ad es. punto di rugiada ≤ temperatura, raffica ≥ vento medio);
- **coerenza spaziale**: il dato viene confrontato con le stazioni vicine e, per la precipitazione, con le stime radar, da usare come indicatore e non come riferimento assoluto.

8.2. DATO PROVVISORIO E DATO VALIDATO

Il processo distingue due livelli di qualità del dato, che rispondono a esigenze d'uso diverse.
Il **dato provvisorio** è il dato orario che ha superato la verifica automatica in *near real-time*. Viene reso disponibile con tempestività e si presta alle applicazioni in cui la rapidità è prioritaria, come il monitoraggio in tempo reale, il *nowcasting* e il supporto ai sistemi di allerta. Può però essere modificato o invalidato nelle fasi di controllo successive.
Il **dato validato** è il dato giornaliero consolidato che ha superato sia il controllo automatico quotidiano sia la verifica manuale di un tecnico meteorologo. Il controllo quotidiano dispone della giornata completa, di un maggior numero di stazioni di confronto e delle cumulate radar. Il tecnico esamina in particolare i dati marcati come sospetti, conferma o respinge le segnalazioni degli algoritmi e valuta i casi che i test automatici non sono in grado di risolvere, come gli eventi estremi. Il dato validato è quello da impiegare per le elaborazioni climatologiche, le statistiche e le analisi a posteriori.

8.3. NOTIFICA DEI MALFUNZIONAMENTI

Il sistema comprende inoltre una procedura automatica di comunicazione dei malfunzionamenti dei sensori al gestore della rete. Il gestore può così intervenire con tempestività, mantenendo la rete efficiente, rappresentativa e conforme alle linee guida WMO.

9. CERTIFICAZIONE

9.1. PREMESSA

Una rete progettata, realizzata o rimodulata in base alle normative *CIMO Guide* (WMO, 2024) può venir ulteriormente valorizzata attraverso la sua certificazione, la quale ne attesta la corrispondenza agli *standard* WMO completando il percorso definito da MeteoCert®. Una rete certificata diviene uno strumento formidabile, in quanto produce dataset utilizzabili in tutti i contesti, sia quindi in quelli tecnici ed operativi, che in attività di ricerca che in ambiti contrattuali, legali o comunque probanti. Una rete con quelle caratteristiche può venir facilmente integrata in altri sistemi di monitoraggio e, nel tempo, può alimentare le elaborazioni rianalitiche e fornire quindi prodotti meteorologici raffinati.

La sensibilità verso questa esigenza è molto cresciuta in questi ultimi anni, sia alla luce del rilievo crescente assunto dai dati meteorologici in molti processi, sia per la possibilità di un loro uso molto più spinto, grazie alle tecniche digitali. La *Fig. 22* illustra come, a fianco delle reti ufficiali (ARPA, AM, Protezione Civile, Regioni, ecc.), si siano sviluppati importanti sistemi di monitoraggio *in situ* realizzati soprattutto da enti ed agenzie che operano direttamente sul territorio (assicurazioni agricole, utility, consorzi di bonifica).

La certificazione viene rilasciata da un ente certificatore indipendente e abilitato che verifica la conformità di ogni singola stazione e sensore alle linee guida della WMO "*Guide to Instruments and Methods of Observation*" (WMO-No.8, 2024) *e agli standard ISO "Air quality - Meteorology - Siting classifications for surface observing stations on land*" (ISO 19289, 2015).

Il certificatore, dopo aver verificato la pre-analisi predisposta dal consulente (coordinate, modello, sensori, schede tecniche, dati registrati dalle stazioni, modalità e frequenza di supervisione della rete, ecc.), procede al sopralluogo per la classificazione del sito e la verifica della corretta esposizione dei sensori. Infine, dopo una attenta analisi dei dati registrati dalla stazione per almeno un anno, al fine di accertarne i requisiti minimi di completezza e tempestività di consegna, emette, se del caso, la certificazione di conformità, che andrà poi rinnovata ogni cinque anni.

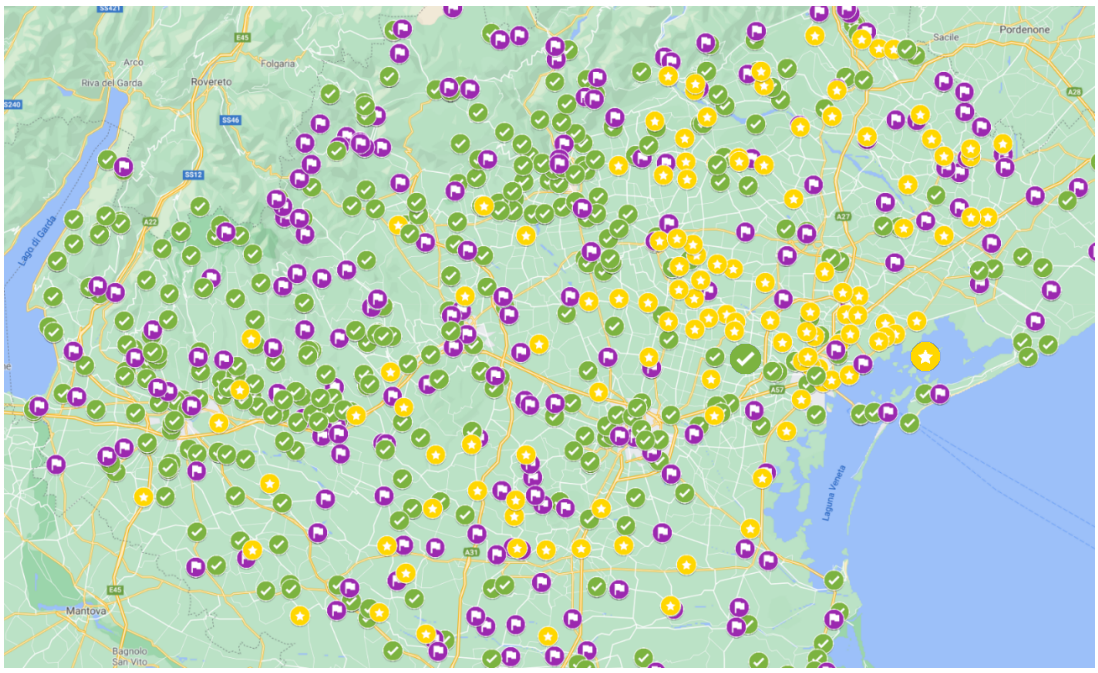


Fig. 22 Stazioni meteorologiche ufficiali ( ), a norma ( ) e certificate ( )

9.2. IL PROCESSO DI CERTIFICAZIONE

Questo processo ha inizio con la progettazione e realizzazione della rete di monitoraggio, oppure con la sua messa a norma, e si conclude con la certificazione delle stazioni meteorologiche. Le sue fasi principali sono schematizzate in *Fig. 23* per le reti di nuova realizzazione ed in *Fig. 24* per le reti adeguate.



Fig. 23 Ciclo di certificazione per nuova rete di monitoraggio: schema di flusso

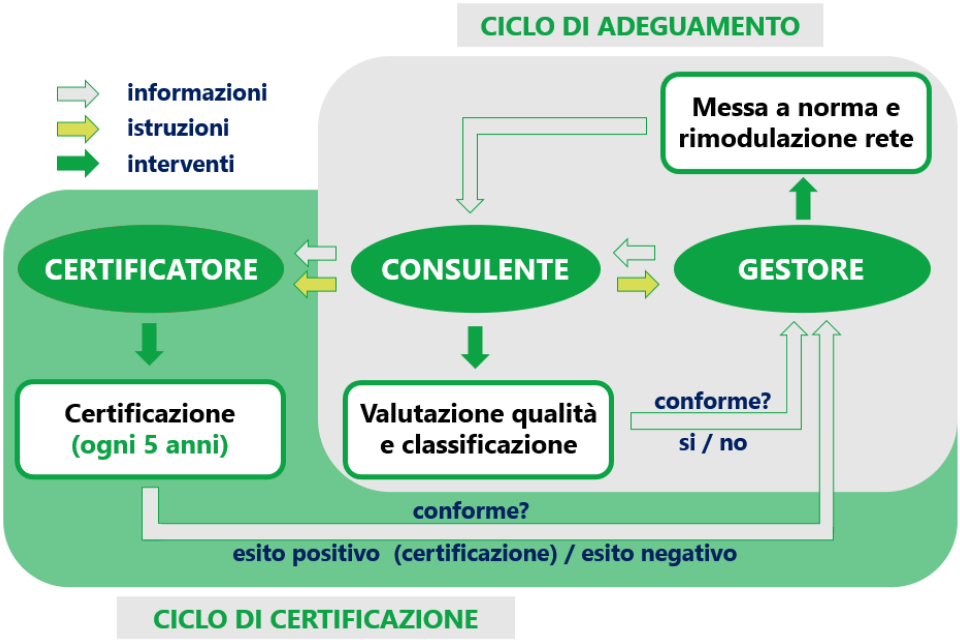


Fig. 24 Ciclo di certificazione per rete di monitoraggio esistente: schema di flusso

9.3. IL CICLO DI CERTIFICAZIONE

Il certificatore, nella sua attività di valutazione, fa riferimento al procedimento e ai criteri definiti nel manuale operativo MeteoCert®, che riprende le linee guida WMO. Radarmeteo è titolare dello schema MeteoCert® e ha

redatto il manuale operativo, che l'ente certificatore ha approvato e adottato come proprio documento di riferimento.
Il ciclo di certificazione, schematizzato in *Fig. 25*, inizia con la pre-analisi, condotta da Radarmeteo in qualità di consulente e sottoposta alla verifica del certificatore. Successivamente, il certificatore ispeziona le varie stazioni con l'assistenza del consulente, il quale sarà in grado di rispondere a eventuali richieste o approfondimenti e di prendere atto di indicazioni e consigli. Al termine della verifica *in situ* sarà quindi possibile certificare o meno la conformità della stazione meteo alle linee guida WMO.
Nel caso in cui, in fase di pre-analisi, la stazione risultasse attiva da meno di un anno, l'esito del processo di certificazione sarà da considerare solo provvisorio, poiché sarà necessario completare la raccolta di almeno un anno di dati, procedere alla loro verifica (post-analisi) e condividerla con il certificatore.

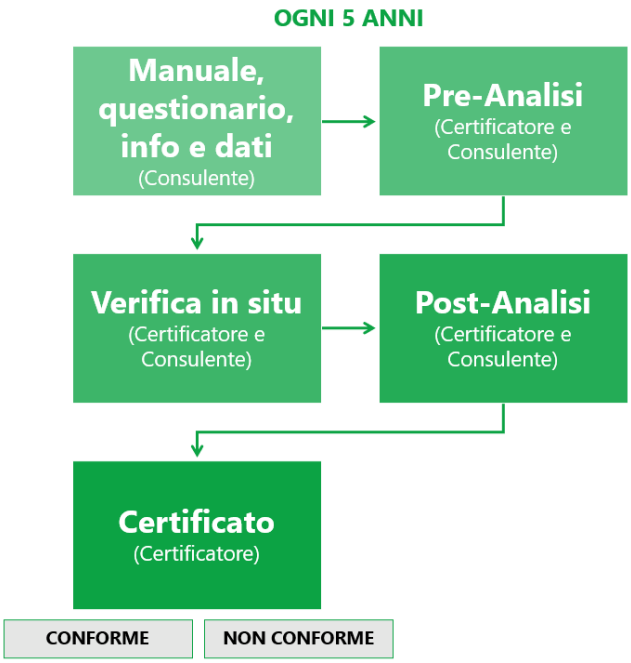


Fig. 25 Ciclo di certificazione, elementi principali

Di seguito vengono elencati e descritti i contenuti e le azioni rappresentate nel diagramma di flusso di *Figura 25*:

- **Manuale operativo**: redatto da Radarmeteo, titolare dello schema MeteoCert®, in base alle linee guida WMO, e approvato e adottato dall'ente certificatore come proprio documento di riferimento. È lo strumento di riferimento per tutti gli attori del processo di certificazione. Dopo una descrizione delle principali fasi del procedimento, il documento si focalizza sulle istruzioni per la compilazione del questionario di verifica, fornendo i riferimenti necessari per una corretta valutazione di tutti gli aspetti da analizzare (qualità della stazione meteo, rappresentatività del sito, esposizione degli strumenti, supervisione della stazione, ecc.).
- **Questionario di verifica:** predisposto da Radarmeteo nell'ambito del manuale operativo, consente di registrare tutte le informazioni utili alla classificazione della stazione meteorologica, così come indicato nel manuale.
- **Fornitura di informazioni e dati:** il consulente fornisce al certificatore il manuale, il questionario, le specifiche tecniche delle stazioni meteorologiche e l'ultimo anno di dati registrati.

- **Pre-Analisi:** il consulente, sulla base delle informazioni e dei dati disponibili, accerta se la stazione è in grado di soddisfare i requisiti basilari per essere certificata. Il certificatore verifica la pre-analisi e ne conferma o meno gli esiti.
- **Verifica *in situ*:** il certificatore effettua la visita *in situ*, accompagnato dal consulente. Durante il sopralluogo, il certificatore effettua le necessarie misure, registra le osservazioni, compila il questionario e fotografa la stazione da diverse prospettive (visione globale del sito e visione di dettaglio sullo strumento).
- **Post-Analisi:** il consulente analizza i dati forniti da ogni stazione e produce le statistiche riguardanti la completezza dei dati e la tempestività di comunicazione; il certificatore verifica se le relative soglie di qualità sono rispettate.
- **Attestato di conformità:** per ogni stazione meteorologica visitata, il certificatore rilascia il certificato di conformità o non conformità alle linee guida WMO. L'attestato ha una validità di cinque anni, al termine dei quali va ripetuto l'intero processo.

10. NOTE

[1]Massimo Crespi: già Ispettore del Corpo Forestale dello Stato, Direttore del Centro Sperimentale per le valanghe e la difesa idrogeologica di Arabba (Regione Veneto), Direttore del Centro Meteorologico di Teolo (ARPA Veneto), Direttore della Ricerca e Comunicazione di ARPA Veneto, Direttore Generale della Pianificazione e Programmazione della Regione del Veneto, Delegato Nazionale presso la WMO dell'ONU, Direttore del Centro di monitoraggio meteorologico, ambientale ed idrologico della Unione Europea in Asunciòn (Paraguay). Attualmente Amministratore unico di Radarmeteo Srl e Presidente di Hypermeteo Srl. In carriera ha progettato, realizzato e gestito importanti reti di monitoraggio meteorologico ed ambientale sia in Italia che all'estero, sia nazionali che regionali, sia pubbliche che private, portandole anche alla certificazione di qualità.

[2]Andrea Bertolini: Ingegnere per l'Ambiente e il Territorio, meteorologo certificato, già assistente di ricerca presso l'Istituto di Scienza dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISAC-CNR) e Dottore di Ricerca in Models and Methods for Material and Environmental Sciences. Attualmente Responsabile del Servizio Reti di Radarmeteo. Ha progettato e diretto i lavori relativi alla realizzazione di importanti reti di monitoraggio meteorologico, alla messa a norma di reti esistenti ed alla loro certificazione di qualità.

[3] Quaderno1_Rappresentatività_dati_meteo.pdf (radarmeteo.com)

[4] WMO: *World Meteorological Organization* (Organizzazione Meteorologica Mondiale), Agenzia tecnica dell'ONU (Organizzazione delle Nazioni Unite) che ha il compito di coordinare a livello globale la meteorologia, la climatologia e l'idrologia operativa

[5] CIMO: *Commission for Instruments and Methods of Observation* – commissione tecnica WMO che ha curato la Guida fino alla riforma degli organi costituenti del 2019; le sue funzioni sono passate alla Commissione per le osservazioni, le infrastrutture e i sistemi informativi (INFCOM).

11. BIBLIOGRAFIA

- ISO 19289, 2015: *Air quality - Meteorology - Siting classifications for surface observing stations on land*. International Organization for Standardization.
- Leroy Michel, Meteo-France, 2013: *Sustained Performance Classification for Surface Observing Stations on Land*. CIMO/WMO.
- Mareile Wolff et al., Norwegian Meteorological Institute, 2016: *Temperature siting classification in Nordic Countries.*

- UNI EN 17277:2020: *Idrometria - Requisiti di misurazione e classificazione degli strumenti pluviometrici per la misura dell'intensità di precipitazione*
- World Meteorological Organization, 2003: *Guidelines on Climate Observation Networks and Systems* (WMO/TD-No. 1185).
- World Meteorological Organization, 2006: *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban site* (WMO/TD-No. 1250).
- World Meteorological Organization, 2010: *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (WMO-No. 134).
- World Meteorological Organization, 2010: Guide to the GCOS Surface Network (GSN) and GCOS Upper-Air Network (GUAN) (WMO/TD-No. 1558).
- World Meteorological Organization, 2017: *Guide to the Global Observing System* (WMO-No. 488).
- World Meteorological Organization, 2017: *Quality Assessment using METEO-Cert: The MeteoSwiss Classification Procedure for Automatic Weather Stations* (IOM Report No. 126).
- World Meteorological Organization, 2023: *Guide to Climatological Practices* (WMO-No. 100).
- World Meteorological Organization, 2024: *Manual on the WMO Integrated - Global Observing System, Annex VIII to the WMO Technical Regulations* (WMO-No. 1160).
- World Meteorological Organization, 2024: *Guide to the WMO Integrated Global Observing System* (WMO-No. 1165).
- World Meteorological Organization, 2024: *Guide to Instruments and Methods of Observation*, Volume I – Measurement of Meteorological Variables (WMO-No. 8).
- World Meteorological Organization, 2024: *Guide to Instruments and Methods of Observation*, Volume III – *Observing Systems* (WMO-No. 8).

ALLEGATO I

RETI METEOROLOGICHE - ESTRATTI PUBBLICAZIONI WMO

Sommario

WMO-NO. 8: GUIDE TO INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION, VOLUME I – MEASUREMENT OF METEOROLOGICAL VARIABLES 34

WMO-NO. 8: GUIDE TO INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION, VOLUME III – OBSERVING SYSTEMS 38

WMO-NO. 100: GUIDE TO CLIMATOLOGICAL PRACTICES 39

WMO-NO. 134: GUIDE TO AGRICULTURAL METEOROLOGICAL PRACTICES 45

WMO-NO. 488: GUIDE TO THE GLOBAL OBSERVING SYSTEM 45

WMO-NO. 1185: GUIDELINES ON CLIMATE OBSERVATION NETWORKS AND SYSTEMS 47

WMO/TD-NO. 1558: GUIDE TO THE GCOS SURFACE NETWORK (GSN) AND GCOS UPPER-AIR NETWORK (GUAN) 50

WMO-NO. 1160: MANUAL ON THE WMO INTEGRATED GLOBAL OBSERVING SYSTEM 51

WMO-NO. 1165: GUIDE TO THE WMO INTEGRATED GLOBAL OBSERVING SYSTEM 54

WMO-NO. 8: GUIDE TO INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION, VOLUME I – MEASUREMENT OF METEOROLOGICAL VARIABLES

Prefazione

"Dati osservativi uniformi, tracciabili e di alta qualità rappresentano un input essenziale per la maggior parte delle applicazioni della WMO, quali il monitoraggio del clima, le previsioni meteorologiche numeriche, le previsioni a breve termine e le previsioni di condizioni meteorologiche avverse, che contribuiscono tutte al miglioramento del benessere delle società in tutto il mondo."

1.1.1 Generale

"Le osservazioni meteorologiche (e quelle ambientali e geofisiche correlate) vengono effettuate per una serie di motivi. Sono utilizzate per la preparazione in tempo reale di analisi meteorologiche, previsioni e allerte meteo, per lo studio del clima, per operazioni locali dipendenti dalle condizioni meteorologiche (ad esempio, operazioni di volo negli aeroporti locali, lavori di costruzione sulla terraferma e in mare), per l'idrologia e la meteorologia agricola e per la ricerca in meteorologia e climatologia. Lo scopo della Guida agli strumenti meteorologici e ai metodi di osservazione è quello di supportare queste attività fornendo consigli sulle buone pratiche per le misurazioni e le osservazioni meteorologiche."

1.1.2 Rappresentatività

"Gli errori dovuti ad una esposizione non rappresentativa possono essere molto più grandi di quelli previsti dal sistema strumentale isolato. Una stazione situata in una zona collinare o costiera rischia di non essere rappresentativa su larga scala o a mesoscala. Tuttavia, una buona omogeneità delle osservazioni nel tempo può consentire agli utenti di utilizzare i dati anche di stazioni non rappresentative per studi climatici."

1.1.3 Metadati

"Lo scopo della presente Guida e delle relative pubblicazioni della WMO è garantire l'affidabilità delle osservazioni attraverso la standardizzazione. Tuttavia, le risorse e le circostanze locali possono causare deviazioni dagli standard concordati in materia di strumentazione ed esposizione. Un esempio tipico è quello delle regioni con abbondanti nevicate, dove gli strumenti sono montati più in alto del solito in modo da poter essere utilizzati sia in inverno che in estate.

Gli utenti delle osservazioni meteorologiche hanno spesso bisogno di conoscere l'esposizione effettiva, il tipo e le condizioni delle apparecchiature e il loro funzionamento, nonché, eventualmente, le circostanze delle osservazioni. Ciò è particolarmente significativo nello studio del clima, in cui è necessario esaminare la storia dettagliata delle stazioni. I metadati (informazioni riguardanti i dati) devono essere conservati per tutte le questioni relative all'installazione e alla manutenzione delle stazioni descritte al punto 1.3 e per i cambiamenti che si verificano, compresa la cronologia delle calibrazioni e delle manutenzioni e i cambiamenti in termini di esposizione e personale (cfr. *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization,* WMO/TD-No. 1186). I metadati sono particolarmente importanti per gli elementi che sono particolarmente sensibili all'esposizione, come le precipitazioni, il vento e la temperatura."

1.3.1 Stazioni meteorologiche automatiche

"La maggior parte degli elementi richiesti per scopi sinottici, climatologici o aeronautici possono essere misurati con strumentazione automatica."

1.3.3.1 Scelta del sito

"Le stazioni di osservazione meteorologica sono progettate in modo tale da consentire misurazioni (o osservazioni) rappresentative in base al tipo di stazione in questione. Pertanto, una stazione della rete sinottica dovrebbe effettuare osservazioni che soddisfino i requisiti su scala sinottica, mentre una stazione di osservazione meteorologica aeronautica dovrebbe effettuare osservazioni che descrivano le condizioni specifiche del sito locale (aerodromo). Quando le stazioni sono utilizzate per diversi scopi, ad esempio aeronautici, sinottici e climatologici, il requisito più rigoroso determinerà l'ubicazione precisa di un sito di osservazione e dei relativi strumenti di rilevamento. Uno studio dettagliato sull'ubicazione e l'esposizione è stato pubblicato in Siting and Exposure of Meteorological Instruments (WMO/TD-No. 589)."

1.3.4 Cambiamenti di strumentazione e omogeneità

"Le caratteristiche di un sito di osservazione cambiano generalmente nel tempo, ad esempio a causa della crescita degli alberi o della costruzione di edifici su terreni adiacenti. I siti dovrebbero essere scelti in modo da ridurre al minimo questi effetti, se possibile. La documentazione relativa alla geografia del sito e alla sua esposizione dovrebbe essere conservata e aggiornata regolarmente come componente dei metadati (cfr. allegato 1.F e *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (WMO/TD-n. 1186)).

È particolarmente importante ridurre al minimo gli effetti dei cambiamenti degli strumenti e/o dei cambiamenti nella collocazione di specifici strumenti. Sebbene le caratteristiche statiche dei nuovi strumenti possano essere ben comprese, quando vengono utilizzati operativamente possono introdurre cambiamenti evidenti nella climatologia del sito. Per prevenire questa eventualità, le osservazioni effettuate con i nuovi strumenti dovrebbero essere confrontate su un intervallo di tempo prolungato (almeno un anno; cfr. *Guide to Climatological Practices* (WMO-n. 100)) prima che il vecchio sistema di misurazione sia messo fuori servizio. Lo stesso vale in caso di cambiamento di sito. Laddove questa procedura non sia praticabile in tutti i siti, è essenziale effettuare confronti in siti rappresentativi selezionati per cercare di dedurre i cambiamenti nei dati di misurazione che potrebbero essere il risultato di cambiamenti tecnologici o di cambiamenti imposti al sito."

1.3.5.1 Ispezione delle stazioni

"Tutte le stazioni sinottiche terrestri e le principali stazioni climatologiche dovrebbero essere ispezionate almeno una volta ogni due anni. Le stazioni meteorologiche agricole e speciali dovrebbero essere ispezionate a intervalli sufficientemente brevi da garantire il mantenimento di un elevato standard di osservazioni e il corretto funzionamento degli strumenti.

L'obiettivo principale di tali ispezioni è quello di accertare che:

a. L'ubicazione e l'esposizione degli strumenti siano note, accettabili e adeguatamente documentate;
b. Gli strumenti siano del tipo approvato, in buono stato e regolarmente verificati rispetto agli standard, se necessario;
c. Esista uniformità nei metodi di osservazione e nelle procedure di calcolo delle quantità derivate dalle osservazioni;
d. Gli osservatori siano competenti per svolgere i loro compiti;
e. Le informazioni sui metadati siano aggiornate."

1.3.5.2 Manutenzione

"I siti di osservazione e gli strumenti devono essere sottoposti a manutenzione regolare, in modo che la qualità delle osservazioni non subisca un deterioramento significativo tra un'ispezione e l'altra. I programmi di manutenzione ordinaria (preventiva) comprendono la pulizia regolare dei siti di osservazione (ad esempio, taglio

dell'erba e pulizia delle superfici esposte degli strumenti) e i controlli raccomandati dai produttori sugli strumenti automatici. I controlli di qualità (QC) di routine effettuati presso la stazione o in un punto centrale devono essere concepiti in modo da individuare i guasti delle apparecchiature il più presto possibile. A seconda della natura del guasto e del tipo di stazione, la manutenzione correttiva (sostituzione o riparazione degli strumenti) deve essere effettuata secondo le priorità e i tempi concordati. Nell'ambito dei metadati, è particolarmente importante tenere un registro dei guasti agli strumenti, delle variazioni di esposizione e delle azioni correttive intraprese nei casi in cui i dati siano utilizzati a fini climatologici."

ALLEGATO 1.B.

1 Introduzione

"La tracciabilità dei risultati delle misurazioni e delle calibrazioni riveste un ruolo fondamentale in molti settori di applicazione, che vanno ovviamente dalla valutazione della variabilità e dei cambiamenti climatici, ma anche ad aspetti che possono avere forti ripercussioni economiche e giuridiche nel contesto dell'emissione di allerte meteorologiche per proteggere vite umane e mezzi di sussistenza.

Garantire la tracciabilità metrologica consente di avere piena fiducia nella validità dei risultati delle misurazioni, il che porta ad avere fiducia nelle implicazioni dei dati di misurazione: nelle previsioni e negli allarmi derivati dalle misurazioni; nelle analisi climatiche e nelle tendenze derivati dalle misurazioni. Ciò a sua volta porta a miglioramenti nella riduzione del rischio di catastrofi (DRR), nella mitigazione dei cambiamenti climatici, nella consulenza per gli sviluppatori di politiche, nella salute e sicurezza umana e nella protezione della proprietà.

La mancanza di tracciabilità dei risultati delle misurazioni è stata riconosciuta come una delle principali preoccupazioni dal CIMO, poiché senza una tracciabilità regolare verrebbe messo in discussione il pieno potenziale del WIGOS. Pertanto, il CIMO ha sottolineato la necessità di sensibilizzare gli NMHS sulla necessità di calibrazioni regolari degli strumenti, oltre alla manutenzione preventiva e ai controlli periodici degli strumenti, come strumento essenziale per garantire la tracciabilità e la qualità richieste dei risultati delle misurazioni."

3 Responsabilità per l'implementazione della strategia

"La responsabilità di garantire la tracciabilità spetta ai membri della WMO, che dovrebbero assicurare tutte le calibrazioni richieste e altre misure necessarie per raggiungere l'obiettivo della strategia."

ALLEGATO 1.E.

"A questo proposito, il CIMO ha sottolineato, nella sua sedicesima sessione, che è fondamentale garantire che la strumentazione e le reti di osservazione siano progettate secondo standard in grado di resistere all'impatto di eventi meteorologici estremi.

Esistono diversi fattori che influenzano la robustezza delle apparecchiature, sia delle infrastrutture che dei sensori sul campo. Il modo più semplice ed efficiente per garantire la disponibilità di un sistema è quello di progettare la robustezza del sistema fin dall'inizio. I fattori da considerare sono:

- Disponibilità dei dati: uno dei primi fattori da considerare. Esistono altre fonti di informazioni simili nelle vicinanze? Si tratta delle uniche informazioni a disposizione dei meteorologi e quindi fondamentali in caso di eventi estremi? In tal caso, sarà necessario un maggiore impegno nella progettazione e nella pianificazione della stazione per garantire la disponibilità dei dati. Quali tipi di interruzioni è possibile tollerare? È grave che i dati non siano disponibili regolarmente per cinque minuti? È importante se non

sono disponibili per un giorno? Tutte queste domande influenzano il modo in cui il sistema viene progettato per garantire la robustezza e il modo in cui il sistema viene supportato.

- Minacce: quali sono gli eventi meteorologici estremi che avranno un impatto sulla stazione meteorologica in una determinata località? In un mondo ideale, tutti i parametri sarebbero monitorati secondo i più alti standard. Tuttavia, la realtà dei finanziamenti generalmente significa che ciò non è possibile. Identificate i parametri critici e concentratevi sul garantire la loro disponibilità.
- Impatto ambientale: ogni luogo presenta le proprie sfide. Esaminare la topografia per assicurarsi che qualsiasi lavoro sul terreno non sia soggetto all'erosione idrica. Tenere in considerazione il tipo di suolo, le fonti di inquinamento locali, la vicinanza al mare e la corrosione salina, il rischio di atti vandalici e simili. Queste minacce influiscono sia sulla progettazione che sui requisiti di manutenzione."

ALLEGATO 1.F.

"L'accuratezza con cui un'osservazione descrive lo stato di una parte selezionata dell'atmosfera non è la stessa dell'incertezza dello strumento, perché il valore dell'osservazione dipende anche dall'esposizione dello strumento all'atmosfera. Non si tratta di una questione tecnica, quindi la sua descrizione è responsabilità dell'osservatore o dell'addetto alla stazione. In pratica, raramente è disponibile un sito ideale con un'esposizione perfetta e, a meno che l'esposizione effettiva non sia adeguatamente documentata, non è possibile determinare l'affidabilità delle osservazioni (Wieringa e Rudel, 2002).

I metadati della stazione dovrebbero contenere i seguenti aspetti dell'esposizione dello strumento:

a. Altezza degli strumenti sopra la superficie (o sotto di essa, per la temperatura del suolo);
b. Tipo di riparo e grado di ventilazione per la temperatura e l'umidità;
c. Grado di interferenza da parte di altri strumenti o oggetti (pali, ventilatori);
d. Microscale e toposcale circostanti lo strumento, in particolare:
    i. Lo stato della superficie della struttura, che influenza la temperatura e l'umidità; gli ostacoli principali nelle vicinanze (edifici, recinzioni, alberi) e le loro dimensioni;
    ii. Il grado di ostruzione dell'orizzonte per le osservazioni dell'irraggiamento solare e delle radiazioni;
    iii. La rugosità del terreno circostante e la vegetazione principale, che influenzano il vento;
    iv. Tutte le caratteristiche del terreno su scala topografica, come piccoli pendii, pavimentazioni, superfici d'acqua;
    v. Principali caratteristiche del terreno alla mesoscala, come coste, montagne o urbanizzazione.

La maggior parte di questi aspetti sarà semipermanente, ma eventuali cambiamenti significativi (crescita della vegetazione, nuovi edifici) dovranno essere registrati nel registro della stazione e datati."

2.1.3.4 Registrazione delle circostanze in cui vengono effettuate le misurazioni

"La temperatura è una delle grandezze meteorologiche le cui misurazioni sono particolarmente sensibili all'esposizione. Per gli studi sul clima in particolare, le misurazioni della temperatura sono influenzate dallo stato dell'ambiente circostante, dalla vegetazione, da fonti quali edifici e altri oggetti, dalla copertura del suolo, dalle condizioni e dai cambiamenti nella progettazione dello schermo o della protezione contro le radiazioni e da altri cambiamenti nelle attrezzature (WMO, 2011). È importante conservare non solo i dati relativi alla temperatura, ma anche le circostanze in cui sono state effettuate le misurazioni. Tali informazioni sono note come metadati (informazioni sui dati; cfr. allegato 1.F)."

WMO-NO. 8: GUIDE TO INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION, VOLUME III – OBSERVING SYSTEMS

Prefazione

"Dati osservativi uniformi, tracciabili e di alta qualità rappresentano un input essenziale per la maggior parte delle applicazioni della WMO, quali il monitoraggio del clima, le previsioni meteorologiche numeriche, le previsioni a breve termine e le previsioni di condizioni meteorologiche avverse, che contribuiscono tutte al miglioramento del benessere delle società in tutto il mondo."

9.1.1.2 Scale orizzontali

"La chiarezza delle motivazioni alla base della creazione di una stazione urbana è essenziale per il suo successo. Due delle ragioni più comuni sono il desiderio di rappresentare l'ambiente meteorologico in un luogo per scopi climatologici generali e il desiderio di fornire dati a supporto delle esigenze di un utente particolare. In entrambi i casi, è necessario definire le scale spaziali e temporali di interesse e, come illustrato di seguito, l'ubicazione della stazione e l'esposizione degli strumenti in ciascun caso potrebbero dover essere molto diverse.

Non c'è fattore più importante per il successo di una stazione urbana che la comprensione del concetto di scala. Esistono tre scale di interesse (Oke, 1984):

a. Microscale: ogni superficie e oggetto ha un proprio microclima su di sé e nelle immediate vicinanze. La temperatura della superficie e dell'aria può variare di diversi gradi su distanze molto brevi, anche di pochi millimetri, e il flusso d'aria può essere fortemente perturbato anche da oggetti di piccole dimensioni. Le scale tipiche dei microclimi urbani sono correlate alle dimensioni dei singoli edifici, alberi, strade, cortili, giardini e così via. Le scale tipiche vanno da meno di 1 m a centinaia di metri. La formulazione delle linee guida nel Volume I della presente Guida mira specificamente ad evitare gli effetti microclimatici. Le raccomandazioni relative alle stazioni climatiche sono state concepite per standardizzare tutti i siti, per quanto possibile. Ciò spiega l'uso di un'altezza di misurazione standard, di un'unica copertura superficiale, di distanze minime dagli ostacoli e di una minima ostruzione dell'orizzonte. L'obiettivo è quello di ottenere osservazioni climatiche prive di segnali microclimatici estranei e quindi caratterizzare i climi locali. Con standard ancora più rigorosi, le stazioni di primo ordine potrebbero essere in grado di rappresentare le condizioni su scale spaziali e temporali sinottiche. I dati potrebbero essere utilizzati per valutare le tendenze climatiche su scale ancora più grandi. A meno che gli obiettivi non siano molto specializzati, anche le stazioni urbane dovrebbero evitare le influenze microclimatiche; tuttavia, ciò è difficile da realizzare.
b. Scala locale: è la scala che le stazioni climatiche standard sono progettate per monitorare. Comprende caratteristiche del paesaggio quali la topografia, ma esclude gli effetti su microscala. Nelle aree urbane ciò si traduce nel clima dei quartieri con tipi simili di sviluppo urbano (copertura superficiale, dimensioni e spaziatura degli edifici, attività). Il segnale è l'integrazione di un mix caratteristico di effetti microclimatici derivanti dall'area sorgente nelle vicinanze del sito. L'area di origine è la porzione di superficie a monte che contribuisce alle proprietà principali del flusso o della concentrazione meteorologica misurata (Schmid, 2002). Le scale tipiche vanno da uno a diversi chilometri;
c. Mesoscala: una città influenza il tempo e il clima su scala urbana, tipicamente con un'estensione di decine di chilometri. Una singola stazione non è in grado di rappresentare questa scala."

WMO-NO. 100: GUIDE TO CLIMATOLOGICAL PRACTICES

2.2 Osservazioni

"Le linee guida si basano anche sui 10 principi di monitoraggio climatico stabiliti nella Relazione del Comitato congiunto GCOS/GOOS/GTOS per la gestione dei dati e delle informazioni: *Third Session* (WMO/TD-n. 847) e nel *Manual on the WMO Integrated Global Observing System* (WMO-n. 1160):

a. L'impatto dei nuovi sistemi e delle modifiche ai sistemi esistenti dovrebbe essere valutato prima della loro implementazione;
b. È necessario un adeguato periodo di sovrapposizione tra i sistemi di osservazione nuovi e quelli vecchi;
c. I dettagli e la cronologia delle condizioni locali, degli strumenti, delle procedure operative, degli algoritmi di elaborazione dei dati e di altri fattori pertinenti all'interpretazione dei dati (metadati) devono essere documentati e trattati con la stessa cura riservata ai dati stessi;
d. La qualità e l'omogeneità dei dati devono essere valutate regolarmente nell'ambito delle operazioni di routine;
e. La considerazione delle esigenze relative ai prodotti e alle valutazioni di monitoraggio ambientale e climatico dovrebbe essere integrata nelle priorità di osservazione nazionali, regionali e globali;
f. Il funzionamento delle stazioni e dei sistemi di osservazione storicamente ininterrotti dovrebbe essere mantenuto;
g. Per ulteriori osservazioni, dovrebbe essere data alta priorità alle aree con scarsa disponibilità di dati, ai parametri scarsamente osservati, alle aree sensibili ai cambiamenti e alle misurazioni chiave con risoluzione temporale inadeguata;
h. I requisiti a lungo termine dovrebbero essere specificati ai progettisti di rete, agli operatori e agli ingegneri strumentisti sin dall'inizio della progettazione e dell'implementazione del sistema;
i. Dovrebbero essere adottate misure volte a promuovere la ricerca che consenta ai sistemi di osservazione di svolgere operazioni a lungo termine con un'attenta pianificazione;
j. I sistemi di gestione dei dati che facilitano l'accesso, l'uso e l'interpretazione dei dati e dei prodotti dovrebbero essere inclusi come elementi essenziali dei sistemi di monitoraggio del clima."

2.2.2 Strumentazione

"Nella scelta degli strumenti, compresi i sistemi di elaborazione e trasmissione dei dati associati, è necessario seguire i 10 principi di monitoraggio climatico enunciati nella sezione 2.2 e tenere conto di diversi altri aspetti, ovvero:

a. Affidabilità (lo strumento deve funzionare in ogni momento secondo le specifiche di progettazione);
b. Idoneità (lo strumento dovrebbe essere idoneo all'ambiente operativo della stazione e alle altre apparecchiature con cui deve essere utilizzato);
c. Precisione;
d. Semplicità di progettazione;
e. Motivi per effettuare le osservazioni.

Idealmente, tutti gli strumenti dovrebbero essere scelti in modo da garantire l'elevato livello di accuratezza e precisione richiesto per scopi climatologici. Dovrebbero inoltre continuare a fornire il livello di accuratezza richiesto per un lungo periodo di tempo, poiché la "deriva" degli strumenti può portare a gravi disomogeneità nei dati climatici registrati; l'accuratezza ha un'utilità limitata se non è accompagnata dall'affidabilità. La *Measurement Quality Classifications for Surface Observing Stations on Land* (la cui inclusione è stata proposta nella *Guide to Instruments and Methods of Observation*, WMO-No. 8) sono destinate ai progettisti di reti, ai gestori e agli utenti dei dati per valutare e monitorare la qualità delle misurazioni in una stazione esistente. Lo schema delle classificazioni della qualità delle misurazioni aiuterà i climatologi a meglio comprendere e quantificare i contributi all'incertezza complessiva delle misurazioni. Lo schema è applicabile anche per supportare la progettazione e l'ottimizzazione di un nuovo sistema in modo che fornisca misurazioni adeguate allo scopo e per supportare le decisioni relative all'acquisto e alla valutazione dei sistemi di misurazione.

Più semplice è la strumentazione, più facile sarà il suo funzionamento e la sua manutenzione e più facile sarà monitorarne le prestazioni. A volte è necessario installare sensori ridondanti per monitorare correttamente le prestazioni e l'affidabilità nel tempo. I sistemi complessi possono facilmente portare a disomogeneità dei dati, perdita di dati, costi di manutenzione elevati e variazioni di precisione. Esistono diverse opzioni per ottenere osservazioni climatiche. Quando si valutano queste opzioni, è importante confrontare i costi relativi al personale, alla manutenzione e alla sostituzione. I prezzi possono spesso essere negoziati con i produttori sulla base di fattori quali le quantità acquistate.

Esistono apparecchiature autografiche e data-logger per la registrazione di molti elementi climatici. Gli osservatori devono assicurarsi che le apparecchiature siano utilizzate correttamente e che le informazioni registrate sui grafici, ad esempio, siano chiare e distinte. Gli osservatori devono essere responsabili della verifica e della valutazione periodica dei dati registrati, confrontandoli con le apparecchiature di lettura diretta e apponendo segni temporali a intervalli frequenti e specificati. I dati registrati possono essere utilizzati efficacemente per colmare le lacune e completare la registrazione quando le osservazioni dirette vengono saltate perché la persona responsabile della registrazione dei dati è assente dalla stazione di osservazione, ad esempio a causa di malattia. La *Guide to Instruments and Methods of Observation* (WMO-No. 8) fornisce indicazioni specifiche sulla manutenzione e il funzionamento degli strumenti di registrazione, dei tamburi e degli orologi.

Le stazioni meteorologiche automatiche (AWS) sono state utilizzate per generare dati aggiuntivi a integrazione di quelli provenienti dalle stazioni presidiate e per aumentare la densità delle reti, la frequenza delle segnalazioni e la quantità di elementi osservati, in particolare nelle aree remote e scarsamente popolate dove l'accesso umano è difficile. Alcuni dei requisiti di sensibilità e accuratezza di queste stazioni automatizzate sono indicati nella *Guide to Instruments and Methods of Observation* (WMO-No. 8); altri sono in fase di sviluppo, in particolare per gli studi sulla variabilità climatica. Sebbene le AWS abbiano un notevole potenziale per fornire dati ad alta frequenza e forniscano dati aggiuntivi da località remote, il loro funzionamento comporta diversi costi significativi. Le stazioni devono essere sottoposte a manutenzione, con conseguenti costi di manodopera. Vi sono anche costi associati alla garanzia che le stazioni siano affidabili, accessibili per l'installazione e la manutenzione (compreso il ripristino del servizio dopo interruzioni) e conformi agli standard WMO. Inoltre, devono essere disponibili manodopera sufficiente, fonti di energia adeguate, un sito sicuro e infrastrutture di comunicazione adeguate. I costi aggiuntivi di questi fattori devono essere attentamente valutati rispetto ai vantaggi significativi, come una rete più densa o più estesa. Le AWS possono rappresentare una valida alternativa ai programmi di osservazione con personale e talvolta costituiscono l'opzione preferita o l'unica disponibile, ma è necessario un forte impegno organizzativo per garantire che le stazioni siano gestite e mantenute a lungo termine."

2.3 Reti climatologiche

"Una rete di stazioni è un insieme di stazioni dello stesso tipo (ad esempio un insieme di stazioni pluviometriche, stazioni di misurazione delle radiazioni o stazioni climatologiche) gestite come un gruppo. Ogni rete dovrebbe essere ottimizzata per fornire i dati e funzionare come richiesto a un costo accettabile. La maggior parte dei metodi di ottimizzazione si basa sui dati provenienti da una rete preesistente disponibile per un periodo sufficientemente lungo da documentare correttamente le proprietà dei campi meteorologici. I metodi si basano su analisi statistiche temporali e spaziali delle serie temporali. È difficile valutare a priori la lunghezza della serie di dati, poiché il numero di anni necessari per catturare la variabilità e le caratteristiche di cambiamento può variare a seconda dell'elemento climatico. È prassi comune ipotizzare che siano necessari almeno 10 anni di osservazioni giornaliere per produrre i parametri statistici di base rilevanti per la maggior parte degli elementi e almeno 30 anni per le precipitazioni. Le tendenze climatiche globali e regionali osservate e la variabilità in molte aree del globo nel corso dell'ultimo secolo suggeriscono, tuttavia, che periodi di registrazione così brevi potrebbero non essere rappresentativi di periodi simili futuri.

L'identificazione delle stazioni ridondanti consente ai gestori della rete di valutare le opzioni per l'ottimizzazione della rete. Ad esempio, per raggiungere più efficacemente gli obiettivi della rete, le risorse potrebbero essere utilizzate per istituire stazioni nei luoghi in cui sono necessarie osservazioni. I gestori della rete dovrebbero sfruttare la coerenza spaziale relativamente elevata che esiste per alcuni campi meteorologici, come la temperatura. Le tecniche utilizzate per valutare il livello di ridondanza delle informazioni includono l'uso della matrice di varianza-covarianza spaziale delle stazioni disponibili, la regressione lineare multipla, l'analisi canonica e gli esperimenti di simulazione del sistema di osservazione. Tuttavia, è necessario prestare attenzione quando si valuta la rimozione di alcune stazioni, poiché la ridondanza e la coerenza spaziale sono strumenti importanti per valutare la qualità e l'omogeneità dei dati.

La densità e la distribuzione delle stazioni climatologiche da istituire in una rete terrestre all'interno di una determinata area dipendono dagli elementi meteorologici da osservare, dalla topografia e dall'uso del suolo nell'area, nonché dai requisiti relativi alle informazioni sugli specifici elementi climatici in questione. La rete dovrebbe fornire una rappresentazione soddisfacente delle caratteristiche climatiche di tutti i tipi di terreno presenti nel territorio dello Stato membro interessato (ad esempio pianure, regioni montuose, altipiani, coste e isole). Per i dati utilizzati in applicazioni settoriali all'interno di un'area, può essere necessaria una maggiore densità di stazioni nei luoghi in cui le attività umane o la salute sono sensibili al clima e una minore densità nei luoghi con una popolazione meno numerosa. Saranno istituite reti sinottiche regionali di base di stazioni di superficie e di alta quota e reti climatologiche regionali di base di stazioni climatologiche per soddisfare i requisiti stabiliti dalle associazioni regionali.

Ogni membro dovrebbe istituire e mantenere almeno una stazione climatologica di riferimento per determinare le tendenze climatiche. Tali stazioni devono fornire oltre 30 anni di registrazioni omogenee e dovrebbero essere situate in luoghi in cui si sono verificati pochi cambiamenti ambientali antropogenici e se ne prevedono pochi in futuro. Le informazioni sulle reti e sui siti agrometeorologici e idrometeorologici sono disponibili nella *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (WMO-n. 134) e nella *Guide to Hydrological Practices* (WMO-n. 168), rispettivamente nei volumi I e II; ulteriori indicazioni sono fornite nel *Manual on the WMO Integrated Global Observing System* (WMO-n. 1160).

Le attività di informazione ambientale di un paese sono spesso condotte da molte parti. I contributi forniti dalle parti sono complementari, ma a volte si sovrappongono. Un paese trae vantaggio dalle informazioni ambientali raccolte e diffuse da agenzie governative ed enti non governativi (tra cui aziende private, servizi pubblici e università). Per ottimizzare le risorse è altamente auspicabile che vi siano partnership formali tra l'NMHS e le altre

parti. Poiché i dati e le informazioni ottenuti da fonti non NMHS non sono solitamente sotto il controllo dell'NMHS, i metadati sono fondamentali per garantire che le informazioni siano utilizzate nel modo più efficace possibile.

Nelle stazioni gestite dal NMHS, è necessario ottenere e documentare i metadati relativi alla strumentazione, all'ubicazione, alle procedure di elaborazione, alle metodologie e a qualsiasi altro elemento che possa migliorare l'utilizzo delle informazioni. I metadati devono inoltre essere conservati e resi accessibili. Al fine di promuovere lo scambio aperto e senza restrizioni di informazioni ambientali, comprese le osservazioni meteorologiche, è altamente auspicabile che al NMHS sia concesso il pieno utilizzo di tutti i dati e le informazioni climatiche ottenuti dai partner, senza alcuna restrizione. Potrebbe essere necessario redigere e firmare un contratto o un protocollo d'intesa appropriato tra l'NMHS e altre organizzazioni da parte dell'alta dirigenza.

Oltre ai dati provenienti dalle reti standard e private delle stazioni climatologiche, talvolta sono disponibili dati osservativi provenienti da reti di stazioni temporanee istituite nell'ambito di programmi di ricerca e studio, nonché misurazioni effettuate in transetti e profili mobili. Un NMHS dovrebbe cercare di ottenere tali dati e i metadati associati. Sebbene i dati possano non essere ideali per l'archiviazione tipica, spesso si rivelano piuttosto preziosi come informazioni supplementari, ad esempio per le indagini su eventi estremi specifici. Quando queste osservazioni sono raccolte da aree con scarsa disponibilità di dati, sono estremamente preziose. Vale anche la pena di segnalare le iniziative della WMO e del GCOS volte a mantenere e proteggere le osservazioni meteorologiche nazionali a lungo termine attraverso il riconoscimento da parte della WMO delle stazioni di osservazione centenarie."

2.3.1 Considerazioni relative all'ubicazione

"I requisiti precisi di esposizione per gli strumenti specifici utilizzati nelle stazioni climatologiche, volti a ottimizzare l'accuratezza delle misurazioni strumentali, sono discussi nella *Guide to Instruments and Methods of Observation* (WMO-No. 8). La rappresentatività e l'omogeneità delle registrazioni climatologiche sono strettamente correlate all'ubicazione del sito di osservazione. Una stazione situata su o in prossimità di un pendio ripido, una cresta, una scarpata, una conca, un edificio, un muro o altri ostacoli è in grado di fornire dati rappresentativi del sito stesso, ma non dell'area più ampia. Queste stazioni, come i fari, possono essere utili se si trovano in un ambiente stabile da molto tempo. Se una stazione è o sarà influenzata dalla crescita della vegetazione (compresa la crescita di alberi vicino al sensore e colture alte o boschi nelle vicinanze), dalla costruzione di edifici su terreni adiacenti o dall'aumento (o dalla diminuzione) del traffico stradale o aereo (ad esempio a causa di cambiamenti nell'uso delle piste o delle vie di rullaggio), i dati forniti non saranno né ampiamente rappresentativi né omogenei.

Una stazione di osservazione climatologica dovrebbe essere situata in un luogo che consenta la corretta esposizione della strumentazione e offra la più ampia vista possibile del cielo e del territorio circostante, qualora siano richiesti dati visivi. Le stazioni dovrebbero essere collocate su un terreno pianeggiante, ricoperto solo da erba bassa o da altre condizioni di terreno nudo tipiche del sito. Il sito dovrebbe essere situato lontano da alberi, edifici, muri e pendii ripidi e non dovrebbe trovarsi in una conca. Una superficie di circa 9 × 6 m è sufficiente per gli strumenti di rilevamento della temperatura e dell'umidità all'aperto, mentre un'area di 2 × 2 m di terreno nudo all'interno del lotto è l'ideale per le osservazioni dello stato del terreno e le misurazioni della temperatura del suolo. È preferibile un lotto leggermente più grande (10 × 7 m) se il sito ospita un pluviometro oltre agli altri sensori.

Una regola utilizzata da molti NMHS è che la distanza di qualsiasi ostacolo dal pluviometro, comprese le recinzioni, deve essere superiore al doppio dell'altezza, e preferibilmente quattro volte l'altezza, dell'oggetto rispetto al pluviometro. In termini generali, gli anemometri dovrebbero essere posizionati a una distanza da qualsiasi ostacolo pari ad almeno 10 volte, e preferibilmente 20 volte, l'altezza dell'ostacolo. I diversi requisiti di esposizione

dei vari strumenti possono dare luogo a un sito diviso, con alcuni elementi osservati da un punto e altri osservati nelle vicinanze. Tutti i dati provenienti da un sito diviso vengono combinati sotto un unico identificativo del sito.

È fondamentale includere note, disegni o foto, o una combinazione di questi elementi, che descrivano l'esposizione della stazione. Tali note, disegni e foto devono essere aggiornati regolarmente, anche solo per indicare che l'esposizione della stazione è rimasta invariata. Se l'ambiente del sito cambia stagionalmente (ad esempio, a causa di cambiamenti nella vegetazione circostante), anche queste informazioni devono essere registrate. Queste informazioni sono una parte importante dei metadati di una stazione e costituiscono una componente fondamentale delle indagini storiche e delle valutazioni di omogeneità.

La prevenzione dell'accesso non autorizzato è una considerazione molto importante e può richiedere la recinzione del sito. È importante che tali misure di sicurezza non compromettano l'esposizione del sito. Le stazioni automatiche richiedono normalmente un elevato livello di sicurezza per proteggersi dall'ingresso di animali e dall'accesso non autorizzato da parte di esseri umani. Richiedono inoltre la disponibilità di alimentatori adeguati e robusti e possono necessitare di una protezione aggiuntiva contro allagamenti, detriti fogliari e sabbia trasportata dal vento.

Le stazioni dovrebbero essere situate in luoghi soggetti a condizioni amministrative che consentano il funzionamento continuo della stazione, con un'esposizione che rimanga invariata per un decennio o più. Per le stazioni utilizzate o istituite per determinare i cambiamenti climatici a lungo termine, come le stazioni climatologiche di riferimento e altre stazioni di base della rete GCOS, è richiesta la costanza dell'esposizione e del funzionamento per molti decenni.

I siti di osservazione e gli strumenti devono essere sottoposti a una manutenzione adeguata, in modo che la qualità delle osservazioni non subisca un deterioramento significativo tra un'ispezione e l'altra. I programmi di manutenzione preventiva di routine comprendono lo svolgimento di regolari attività di "pulizia" nei siti di osservazione (come il taglio dell'erba e la pulizia delle superfici esposte degli strumenti, compresi gli schermi dei termometri) e l'esecuzione dei test sugli strumenti raccomandati dai produttori. I controlli di routine effettuati presso la stazione o in un punto centrale devono essere concepiti in modo da individuare i guasti alle apparecchiature nella fase più precoce possibile.

A seconda della natura del guasto e del tipo di stazione, le apparecchiature devono essere sostituite o riparate secondo le priorità e gli intervalli di tempo concordati. È particolarmente importante tenere un registro dei guasti degli strumenti e adottare misure correttive quando i dati sono utilizzati a fini climatologici. Il registro costituirà la base principale per i metadati del sito e diventerà quindi parte integrante della documentazione climatica. Informazioni dettagliate sulla manutenzione del sito sono disponibili nella *Guide to Instruments and Methods of Observation* (WMO-No. 8).

La natura degli ambienti urbani rende impossibile conformarsi alle linee guida standard sulla selezione del sito e l'esposizione della strumentazione necessaria per stabilire una registrazione omogenea che possa essere utilizzata per descrivere il clima su scala più ampia. Ciononostante, i siti urbani hanno un valore intrinseco per il monitoraggio dei cambiamenti reali del clima locale che potrebbero essere significativi per un'ampia gamma di applicazioni. Le linee guida per la selezione dei siti urbani, l'installazione delle attrezzature e l'interpretazione delle osservazioni sono fornite nella *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites* (WMO/TD-No. 1250). Una premessa fondamentale delle linee guida è che lo scopo delle osservazioni deve essere chiaramente compreso e che è necessario ottenere misurazioni rappresentative dell'ambiente urbano. Spesso sarà possibile conformarsi alle pratiche standard, ma a volte potrebbe essere necessario adottare un approccio flessibile per l'ubicazione delle stazioni urbane e l'installazione delle apparecchiature, il che rende ancora più importante la conservazione di metadati che descrivano accuratamente l'ubicazione della stazione e la strumentazione."

2.3.3 Competenza degli osservatori

"La *Guide to Competency* (WMO-No. 1205) fornisce il quadro generale delle competenze, mentre il *Compendium of WMO Competency Frameworks* (WMO-No. 1209) descrive il quadro specifico per il personale che effettua osservazioni meteorologiche. Quest'ultimo descrive le conoscenze e le competenze necessarie per svolgere molte funzioni di osservazione. Gli osservatori devono essere formati e certificati da un servizio meteorologico appropriato per stabilire la loro competenza nell'effettuare osservazioni, nella manutenzione delle attrezzature e nello svolgimento dei loro compiti secondo gli standard richiesti. Devono essere in grado di interpretare le istruzioni per l'uso delle tecniche strumentali e manuali applicabili ai loro specifici sistemi di osservazione. La *Guide to Instruments and Methods of Observation* (WMO-No. 8) fornisce indicazioni sui requisiti di formazione strumentale per gli osservatori."

2.3.4 Gestione della qualità delle operazioni delle stazioni climatologiche

"Le linee guida per il controllo della qualità delle osservazioni in loco sono fornite nella *Guide to the Global Observing System* (WMO-No. 488). È necessario verificare la presenza di errori grossolani, valori estremi esistenti, coerenza interna in una sequenza di osservazioni, coerenza nella sequenza di date e orari delle osservazioni, coerenza con altri elementi e calcoli, nonché l'accuratezza delle copie e dei rapporti codificati. In caso di errori, prima della trasmissione è necessario adottare misure correttive, quali la correzione dei dati originali e del rapporto. Anche gli errori rilevati dopo la trasmissione devono essere corretti e il rapporto corretto deve essere inviato nuovamente. È inoltre necessario effettuare controlli se si riceve una richiesta di chiarimenti sulla qualità dei dati da una fonte esterna, registrare le modifiche necessarie e trasmettere le correzioni. Le registrazioni di un'osservazione originale contenente un errore devono includere una nota o un contrassegno che indichi che il valore originale è errato o sospetto. Il controllo di qualità in loco deve anche includere la verifica che l'esposizione standard dei sensori sia mantenuta, l'esecuzione della manutenzione del sito e la garanzia che siano eseguite le procedure corrette per la lettura della strumentazione e il controllo dei grafici autografici.

È necessario analizzare eventuali modelli di errore di misurazione, ad esempio per verificare se sono correlati alla deriva o al malfunzionamento degli strumenti, e preparare mensilmente o annualmente sintesi dei dati o segnalazioni delle carenze.

Le stazioni climatologiche devono essere ispezionate per garantire la manutenzione e il corretto funzionamento degli strumenti e quindi un elevato standard delle osservazioni. Le stazioni automatizzate devono essere ispezionate almeno una volta ogni sei mesi.

Per determinare le variazioni spaziali e temporali del clima, è di fondamentale importanza verificare l'accuratezza relativa dei singoli sensori in uso in una rete in un determinato momento e controllarli periodicamente. Allo stesso modo, le prestazioni dei sensori e dei sistemi sostitutivi devono essere misurate rispetto alle prestazioni degli strumenti che sono stati sostituiti. I dettagli sulle tecniche di calibrazione sono disponibili nella *Guide to Instruments and Methods of Observation* (WMO-No. 8). Per la climatologia, in genere non è sufficiente affidarsi alle calibrazioni dei produttori ed è errato presumere che la calibrazione non subisca derive o altre variazioni nel tempo. È necessario conservare e rendere disponibili come metadati i registri delle modifiche agli strumenti e delle derive di calibrazione, poiché sono essenziali per la valutazione delle variazioni climatiche reali.

Durante le ispezioni degli AWS situati in luoghi remoti, le osservazioni dovrebbero essere effettuate utilizzando standard mobili per un successivo confronto con i dati registrati dall'AWS ricevuti nel punto di ricezione dei dati. Alcuni NMHS dispongono di procedure automatizzate per rilevare guasti e derive strumentali. Le procedure automatizzate confrontano le singole misurazioni con quelle provenienti dal resto della rete e con i valori analizzati

da campi adattati numericamente. Queste procedure automatizzate sono utili per rilevare non solo le derive, ma anche i punti di discontinuità."

WMO-NO. 134: GUIDE TO AGRICULTURAL METEOROLOGICAL PRACTICES

2.1.5 Estensione delle osservazioni

"Le stazioni climatologiche e idrologiche, che sono spesso più rappresentative delle aree agricole rispetto alle stazioni sinottiche, forniscono informazioni (quantità di precipitazioni giornaliere, temperature estreme e così via) utili per scopi agrometeorologici operativi e per la gestione di rischi e incertezze. Poiché queste reti di stazioni sinottiche, climatologiche e idrologiche sono limitate in termini di densità o tipologia di osservazione, è auspicabile che siano integrate da stazioni agrometeorologiche. La rete completa dovrebbe includere tutti gli aspetti delle variazioni climatiche e del suolo e ogni tipo di attività agricola, orticola, zootecnica, idrobiologica e forestale presente nel Paese."

2.2.4 Reti

"Quando si procede all'installazione o al ricollocamento di stazioni agrometeorologiche, il numero di stazioni all'interno di ciascuna regione dovrebbe dipendere dalla sua estensione, dai tipi e sottotipi climatici e dalle variazioni spaziali di fattori quali la vegetazione naturale, le principali colture e i metodi agricoli. Per quanto possibile, ogni ampia regione fitogeografica omogenea dovrebbe essere rappresentata da almeno una stazione meteorologica agricola principale. Allo stesso modo, ogni area caratteristica dedicata a un aspetto particolare dell'agricoltura, della zootecnia, dell'idrobiologia o della silvicoltura dovrebbe, ove possibile, essere rappresentata da una stazione meteorologica agricola ordinaria. Dovrebbero essere installate sufficienti stazioni meteorologiche agricole ausiliarie per garantire un'adeguata densità spaziale delle osservazioni delle variabili meteorologiche e biologiche di maggiore interesse agrometeorologico per il paese. Da un altro punto di vista, le aree marginali dell'agricoltura e della selvicoltura meriteranno spesso un'attenzione speciale. Uno degli obiettivi principali delle osservazioni effettuate in tali aree sarebbe quello di determinare il confine della regione in cui una singola coltura potrebbe essere coltivata con successo o in cui una specifica procedura agricola o selvicolturale potrebbe essere redditizia; un altro sarebbe quello di accertare la frequenza e la distribuzione geografica tipica dei principali rischi meteorologici, al fine di ridurne il più possibile gli effetti negativi mediante misure protettive."

WMO-NO. 488: GUIDE TO THE GLOBAL OBSERVING SYSTEM

3.1 Informazioni generali

"Il sottosistema di superficie è suddiviso in componenti primarie e secondarie. Le componenti primarie del sottosistema sono le seguenti: stazioni sinottiche di superficie, stazioni sinottiche in quota e stazioni meteorologiche aeronautiche. Per una composizione dettagliata del sottosistema, consultare il *Manual on the Global Observing System* (WMO-n. 544), volume I, parte III, sezione 1. Le associazioni regionali della WMO definiscono le reti regionali di base delle stazioni di superficie e di alta quota in modo adeguato a soddisfare le esigenze dei membri e della Vigilanza meteorologica mondiale. Un elenco e una descrizione di tutte le stazioni di superficie e di alta quota e del corrispondente programma di osservazione sono pubblicati in *Weather Reporting* (WMO-No. 9), *Volume A – Observing Stations*. I componenti principali del sottosistema di superficie comprendono

anche ulteriori stazioni sinottiche di superficie e di alta quota, in particolare stazioni marine fisse e mobili, presidiate e automatiche, e stazioni meteorologiche aeronautiche, queste ultime generalmente operative in orari non sinottici. Le stazioni su navi e aerei sono particolarmente importanti per la fornitura di informazioni da aree con scarsa disponibilità di dati. Le altre componenti del sottosistema comprendono una varietà di stazioni di osservazione più o meno specializzate e includono stazioni meteorologiche aeronautiche, stazioni di ricerca e stazioni su navi speciali, stazioni climatologiche, stazioni meteorologiche agricole e stazioni speciali."

3.1.1 Progettazione delle reti di osservazione

"Alle reti di osservazione si applicano i seguenti criteri:

a. L'ubicazione di ciascuna stazione deve essere rappresentativa delle condizioni spaziali e temporali;
b. La distanza tra le stazioni e l'intervallo tra le osservazioni devono corrispondere alla risoluzione spaziale e temporale desiderata delle variabili meteorologiche da misurare o osservare;
c. Il numero totale di stazioni deve essere, per ragioni di economia, il più ridotto possibile ma sufficientemente ampio da soddisfare le esigenze. In linea di principio, le proprietà delle masse d'aria devono essere campionate da una stazione che copre l'area più piccola possibile, anche se gli strumenti devono essere posizionati in modo da non influenzare reciprocamente le misurazioni. Nella scelta dei siti delle stazioni, l'obiettivo è quello di ottenere dati rappresentativi di un'area più ampia. Idealmente, tutte le misurazioni e le osservazioni visive in tutte le stazioni dovrebbero essere effettuate contemporaneamente, cioè in un'ora sinottica prestabilita. Tuttavia, poiché ciò non è praticabile, le misurazioni dovrebbero essere effettuate nel minor tempo possibile."

3.1.2 Pianificazione delle reti e delle stazioni

"Quando un servizio meteorologico nazionale ha difficoltà a risolvere un problema a causa della mancanza di osservazioni nella propria area di competenza, dovrebbe innanzitutto valutare quali dati sono necessari e da quale area, località o altitudine. Il passo successivo nel processo decisionale consiste nel determinare il tipo di rete o stazione più adatto a fornire i dati richiesti.
Se una stazione deve essere integrata in una rete, la sua ubicazione deve essere scelta principalmente in base alla configurazione della rete. Ciò può essere fatto aggiungendo un compito a una stazione esistente o spostandola, oppure istituendo una nuova stazione.
È inoltre necessario tenere presenti le considerazioni chiave relative alla distanza tra le stazioni all'interno di una rete ottimizzata quando si sviluppa un sistema di indicatori di stazione con numeri o lettere consecutivi. Non è mai possibile installare contemporaneamente tutte le stazioni necessarie per una rete, pertanto è opportuno tenere alcuni indicatori di riserva per colmare le lacune rimanenti. In assenza di tale riserva, le nuove stazioni potrebbero creare un caos crescente nel sistema.

Per lo studio dei fenomeni su piccola scala, talvolta anche soluzioni di tipo non reticolare possono rivelarsi adeguate e al tempo stesso più economiche. Queste possono essere applicate alle osservazioni meteorologiche agricole presso una singola stazione rappresentativa o alle misurazioni delle precipitazioni lungo una linea più o meno retta attraverso una barriera montuosa, fornendo valori tipici per le quantità di precipitazioni lungo i versanti esposti al vento e quelli sottovento.

Il processo decisionale deve includere considerazioni relative ai costi e ai benefici. Il metodo più adatto per ottenere il massimo rapporto costi-benefici è normalmente la co-locazione delle stazioni. Ciò può essere realizzato istituendo una stazione di altro tipo vicino a una già esistente o aumentando gradualmente il compito di una stazione di osservazione a variabile singola a una a variabili multiple. Si può iniziare con la sola misurazione delle

precipitazioni e arrivare a un programma 24 ore su 24 di una stazione sinottica di superficie e di alta quota completamente attrezzata, che richiede strutture più grandi e personale aggiuntivo."

WMO-NO. 1185: GUIDELINES ON CLIMATE OBSERVATION NETWORKS AND SYSTEMS

3.1 L'impatto dei nuovi sistemi o delle modifiche ai sistemi esistenti dovrebbe essere valutato prima dell'implementazione.

"In questo contesto, le modifiche rilevanti sono quelle che riguardano gli strumenti, le pratiche di osservazione, i luoghi di osservazione, le frequenze di campionamento, ecc. Il ritmo dei cambiamenti nelle reti e nei sistemi di osservazione è aumentato negli ultimi decenni ed è molto probabile che questa tendenza continui. Molti di questi cambiamenti sono introdotti deliberatamente grazie alla disponibilità di tecnologie migliorate che, ad esempio, aumentano la precisione delle osservazioni. A condizione che sia possibile preservare la continuità e l'omogeneità dei dati climatici, tali cambiamenti devono essere incoraggiati dai climatologi, in particolare se le nuove tecnologie sono più affidabili. Tuttavia, le ragioni alla base di alcuni cambiamenti, ad esempio il puro risparmio sui costi o la risposta alle richieste di un singolo soggetto interessato, possono essere meno giustificabili dal punto di vista climatico e dovrebbero indurre i climatologi a metterne in discussione il valore. Alcuni cambiamenti, tuttavia, sono inevitabili. Una considerazione fondamentale nell'introduzione di un nuovo sistema è la probabilità che esso funzioni e fornisca osservazioni continue e omogenee nel lungo periodo. Saranno necessarie strategie, come un programma di gestione del cambiamento ben coordinato, per ridurre al minimo gli impatti negativi di un cambiamento."

3.2 È necessario un periodo adeguato di sovrapposizione tra i sistemi di osservazione nuovi e quelli vecchi.

"I programmi di osservazione paralleli tra i sistemi di osservazione esistenti e quelli che li sostituiscono (o tra i siti meteorologici nuovi e quelli vecchi in caso di trasferimento) dovrebbero far parte di qualsiasi strategia volta a preservare la continuità e l'omogeneità dei dati climatici. La priorità dovrebbe essere data alle stazioni che fanno parte di reti speciali per il rilevamento dei cambiamenti climatici. Questi programmi possono anche includere confronti retrospettivi tra siti precedenti o vecchi sistemi di osservazione dismessi, qualora tali siti e/o sistemi siano ancora disponibili per l'uso. I responsabili delle osservazioni potrebbero mettere in discussione i costi aggiuntivi o le spese generali derivanti dalla conduzione di tali osservazioni parallele, in particolare laddove molte esigenze concorrenti mettono a dura prova i loro bilanci. I climatologi devono essere pronti a dimostrare che i benefici superano i costi e che tali sforzi meritano di essere perseguiti."

3.3 I dettagli e la storia delle condizioni locali, degli strumenti, delle procedure operative, degli algoritmi di elaborazione dei dati e di altri fattori pertinenti all'interpretazione dei dati (cioè i metadati) dovrebbero essere documentati e trattati con la stessa cura dei dati stessi.

"Metadati di buona qualità sono ormai fondamentali per i servizi meteorologici, in particolare per le operazioni e la ricerca climatica. È necessario poter accedere facilmente ai metadati (preferibilmente in formato elettronico) per: l'interpretazione dei dati; il controllo della qualità; la selezione della rete; il monitoraggio delle prestazioni della rete/del sistema; le aspettative dei clienti; gli obblighi internazionali (ad esempio per le reti di superficie GCOS); l'identificazione e l'adeguamento dei dati climatici per le discontinuità non climatiche. Oltre ai metadati specifici delle stazioni, i climatologi e i gestori dei dati avranno bisogno di metadati su questioni di rete più ampie,

ad esempio dettagli sui cambiamenti storici nel calcolo delle variabili climatiche derivate e informazioni sui cambiamenti nell'analisi dei sistemi meteorologici (ad esempio i cicloni tropicali). Purtroppo, i metadati sono spesso incompleti, mal organizzati e inaccessibili, il che rappresenta una sfida importante per le organizzazioni. È auspicabile la gestione dei metadati attraverso un moderno sistema di database, anche se i registri cartacei dovranno comunque essere gestiti e conservati, anche attraverso la conversione in formato elettronico e/o microfilm/microfiche, se possibile.

La registrazione delle informazioni in fogli di calcolo può essere un utile metodo provvisorio per garantire la conservazione dei metadati. La gestione dei metadati dovrebbe essere in linea con la politica informativa più ampia di un'organizzazione e deve garantire che le informazioni private (ad esempio gli indirizzi degli osservatori), personali (ad esempio le informazioni sulle prestazioni) e qualsiasi informazione commerciale riservata non vengano distribuite senza approvazione o consenso."

3.4 La qualità e l'omogeneità dei dati dovrebbero essere valutate regolarmente nell'ambito delle operazioni di routine.

"È importante che le responsabilità relative alla garanzia della qualità dei dati climatici siano distribuite all'interno dell'organizzazione e non siano considerate di esclusiva competenza dei gestori dei dati climatici. I servizi meteorologici dovrebbero sforzarsi di sviluppare una politica di gestione dei dati con strategie che pongano forte enfasi sulla qualità dei dati e che includano laboratori e strutture di prova, processi di garanzia della qualità, monitoraggio e correzione in tempo reale, procedure di controllo della qualità e archiviazione dei dati. Alcune organizzazioni potrebbero estendere questa filosofia a una politica di qualità per l'organizzazione (ad esempio Knez et al. 2003). I principi di monitoraggio da 3.1 a 3.3 discutono i modi per ridurre al minimo gli impatti delle disomogeneità. Le organizzazioni dovrebbero anche sforzarsi di disporre di sistemi in grado di segnalare le disomogeneità quasi in tempo reale, in modo da poter intraprendere tempestivamente azioni correttive. Finora, il rilevamento in modalità ritardata delle disomogeneità è stato applicato più comunemente ai dati relativi alla temperatura e alle precipitazioni. L'adeguamento alle disomogeneità si è rivelato più problematico per alcuni elementi climatici (ad esempio il punto di rugiada, la velocità e la direzione del vento)."

3.5 La considerazione delle esigenze relative ai prodotti e alle valutazioni di monitoraggio ambientale e climatico, come le valutazioni del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), dovrebbe essere integrata nelle priorità di osservazione nazionali, regionali e globali.

"I climatologi devono identificare le priorità osservative per i propri paesi sulla base delle capacità delle reti e dei sistemi esistenti, al fine di soddisfare una serie di esigenze climatiche. Oltre ai requisiti di qualità, i climatologi dovrebbero garantire che le reti forniscano un campionamento spaziale e temporale adeguato, in modo che le aree che presentano grandi variazioni spaziali del clima siano adeguatamente campionate e che anche le aree che subiscono (o che potrebbero subire in futuro) grandi variazioni climatiche temporali o spaziali siano ben campionate."

3.6 Il funzionamento delle stazioni e dei sistemi di osservazione storicamente ininterrotti dovrebbe essere mantenuto.

"Questo principio è fondamentale per la produzione di registrazioni climatiche omogenee e continue. I paesi sono stati incoraggiati a identificare le stazioni in una serie di reti speciali istituite per il monitoraggio climatico a lungo termine che contribuiranno a soddisfare questo obiettivo. Tuttavia, il desiderio di un funzionamento continuo dovrebbe permeare tutte le reti meteorologiche e le reti di stazioni correlate che forniscono dati climatologici. Poiché i cambiamenti nei sistemi di osservazione sono inevitabili, è fondamentale che i NMHS dispongano di programmi di gestione del cambiamento, che includano programmi di osservazione paralleli. Si sta compiendo

un grande sforzo per garantire la continuità a lungo termine dei siti critici per il clima. I paesi dovrebbero riconoscere che le loro stazioni con lunghe serie storiche di elementi climatologici costituiscono un patrimonio nazionale, regionale e globale per le loro nazioni."

3.7 Le osservazioni aggiuntive ad alta priorità dovrebbero concentrarsi sulle regioni con scarsa disponibilità di dati, sui parametri scarsamente osservati, sulle regioni sensibili ai cambiamenti e sulle misurazioni chiave con risoluzione temporale inadeguata.

"A questo proposito sono pertinenti le valutazioni dell'adeguatezza delle reti nazionali, regionali e globali. Lo sviluppo di tecnologie di osservazione migliorate dovrebbe concentrarsi su quelle osservazioni e regioni per le quali è risultato problematico acquisire osservazioni di qualità (ad esempio le precipitazioni nei climi freddi). Spesso queste regioni sono associate a ecosistemi sensibili ai cambiamenti climatici e quindi le osservazioni hanno un'importanza aggiuntiva per le valutazioni degli impatti climatici e gli studi di adattamento. Le priorità dovrebbero anche essere collegate al tessuto sociale, economico e ambientale del paese e questo potrebbe, ad esempio, rafforzare la necessità di sostenere le esigenze di osservazione per specifiche applicazioni climatiche. Le reti GCOS e RCS (Reference Climate Station) potrebbero avere una risoluzione spaziale inadeguata per il monitoraggio di alcuni elementi climatici critici su scala nazionale (ad esempio le precipitazioni), per cui sarà necessario individuare alcune reti nazionali aggiuntive che aderiscano a questi principi di monitoraggio climatico."

6.1 Progettazione della rete

"La densità della rete e la distribuzione delle stazioni dipendono dalla specifica applicazione. Le reti climatiche nazionali dovrebbero essere in grado di fornire una rappresentazione soddisfacente delle caratteristiche climatiche del paese. Il tasso di variazione spaziale e temporale degli elementi meteorologici varia a seconda dell'elemento. Ad esempio, il requisito di densità della rete per caratterizzare la temperatura è solitamente molto inferiore rispetto a quello per le precipitazioni. La WMO fornisce linee guida sui criteri di densità per le reti climatologiche. Ulteriori approcci includono varie tecniche e metodologie di analisi oggettiva per applicazioni specifiche. L'approccio più semplice sarebbe quello di identificare regioni climatiche omogenee e garantire che ciascuna regione sia adeguatamente campionata. Metodi più sofisticati esaminerebbero le caratteristiche e i meriti particolari delle stazioni disponibili (ad esempio Peterson et al. 1997, Collins et al. 1999) o utilizzerebbero analisi oggettive per facilitare la selezione della rete (ad esempio Daley 1993, Jones e Trewin 2000).

Nella progettazione delle reti climatiche, occorre tenere ben presente che, per garantire la massima efficienza in termini di costi, tali reti possono e devono supportare anche altre applicazioni e finalità. Ad esempio, in alcuni paesi, le stazioni climatiche di riferimento forniscono anche preziose informazioni in tempo reale per le previsioni meteorologiche e le applicazioni agrometeorologiche. Anche le stazioni climatiche ordinarie, che misurano la temperatura giornaliera, le precipitazioni e il manto nevoso (se applicabile), possono fornire dati a basso costo per le previsioni a breve termine e la verifica delle previsioni, se i dati vengono riportati in modo tempestivo."

6.2 Selezione dei sensori e delle attrezzature

"Le reti nazionali, in particolare quelle destinate al rilevamento delle tendenze, delle variazioni e dei cambiamenti climatici, devono essere dotate di strumentazione standard approvata. È necessario predisporre un processo o un piano per garantire che ciò avvenga in modo ordinato.

In primo luogo, è necessario determinare con attenzione i requisiti delle parti interessate attraverso una consultazione. Questi includono i requisiti di incertezza (precisione), risoluzione e portata, robustezza e idoneità all'ambiente operativo previsto. Ad esempio, sono adatti al funzionamento in climi freddi? Mantengono la loro precisione in condizioni di temperatura estrema?

Il processo dovrebbe includere una revisione dei requisiti prestazionali rispetto alle specifiche del produttore, prove di laboratorio rispetto a uno standard di riferimento collegato a uno standard primario nazionale per determinare l'incertezza e la ripetibilità, nonché la qualità ingegneristica e la progettazione. Il processo di prova e valutazione dovrebbe includere test sul campo in ambienti operativi. Ciò richiede solitamente la disponibilità di più siti di test e un periodo di test di un anno per catturare la gamma prevista di condizioni climatiche e acquisire un set di dati statisticamente significativo. Il piano di prova in campo deve essere progettato con cura per determinare le prestazioni in vari intervalli di misurazione e condizioni ambientali. Le prove in campo potrebbero includere confronti con standard di riferimento calibrati (se disponibili), prodotti dello stesso modello (precisione funzionale) e altri sensori/sistemi attualmente in uso operativo.

Il processo di test, valutazione e qualificazione può richiedere molto tempo, ma alla fine darà i suoi frutti. Si raccomanda ai NMHS di avvalersi degli studi di comparazione condotti dalla *Commission for Instruments and Methods of Observation* (CIMO) della WMO, di cooperare nella condivisione dei risultati dei test e di promuovere e sostenere l'uso dei *Regional Instrument Centres* (RIC) a questo proposito."

WMO/TD-NO. 1558: GUIDE TO THE GCOS SURFACE NETWORK (GSN) AND GCOS UPPER-AIR NETWORK (GUAN)

Preambolo

Omogeneità dei dati:

"Per la ricerca e l'analisi climatica, è molto importante che i dati siano comparabili tra loro nell'intero archivio. Ciò vale in particolare per i dati provenienti dalla stessa località in momenti diversi. I problemi relativi al clima possono presentarsi in una serie storica di lungo periodo a causa dei cambiamenti nelle pratiche di osservazione, compresa la strumentazione. Per l'uso in tempo reale, tali cambiamenti non influiscono negativamente sulle applicazioni; in generale migliorano le operazioni. Per la ricerca sul clima, tuttavia, e per molte applicazioni, tali cambiamenti possono sollevare problemi importanti. Se non vengono adottate misure specifiche, il valore di una serie storica di osservazioni può essere notevolmente ridotto."

Rappresentatività dell'ambiente:

"I siti di osservazione sono stati tradizionalmente situati negli aeroporti, nei porti e nelle città o nelle loro vicinanze. I siti di osservazione più antichi si trovano spesso lungo la costa (e vicino alla sede dell'NMHS, in molti casi nella capitale). Ciò non sorprende, poiché gli scopi marittimi sono stati il primo incentivo per le applicazioni della meteorologia. Tuttavia, questi siti non forniscono necessariamente la migliore rappresentazione del clima nella zona di interesse. Le informazioni meteorologiche attuali e le previsioni del tempo si concentrano sui luoghi in cui le persone vivono e lavorano; la ricerca sul clima ha criteri diversi."

Omogeneità dell'ambiente:

"Un requisito fondamentale per i dati delle serie temporali è l'omogeneità, non solo delle pratiche di osservazione e della strumentazione (vedi sopra), ma anche dell'ambiente in cui vengono effettuate le misurazioni. Poiché i siti di osservazione sono spesso situati in luoghi abitati, l'ambiente tende a cambiare continuamente. Le stazioni istituite tenendo conto del clima sono poche. Sebbene esistano effettivamente stazioni sulle cime e sui pendii delle montagne, su isole scarsamente popolate, nei deserti, nelle regioni ghiacciate, nei parchi nazionali e semplicemente nelle zone rurali, queste stazioni spesso non operano sotto la responsabilità dei NMHS e con gli

impegni della WMO. In molti casi non esiste un'organizzazione in grado di garantire la continuità di tali stazioni anche nel prossimo futuro."

Allegato A

A1: Migliori pratiche per le stazioni GSN (Manual on the Global Observing System, WMO-No. 544, 2.3.1.3, 2.3.1.4, 2.3.1.6, 2.9, 3.2.4)

- "È necessario garantire la continuità a lungo termine di ciascuna stazione GSN. Ciò richiede la disponibilità delle risorse necessarie, compreso personale adeguatamente formato, e il contenimento al minimo dei cambiamenti di ubicazione.
- In caso di cambiamenti significativi nei dispositivi sensoriali o nell'ubicazione delle stazioni, i membri dovrebbero prevedere un periodo di sovrapposizione sufficientemente lungo (almeno un anno, ma preferibilmente due) con il doppio funzionamento dei sistemi vecchi e nuovi per consentire i confronti.
- Il sito e gli strumenti dovrebbero essere ispezionati regolarmente e sottoposti a manutenzione secondo le pratiche raccomandate dalla WMO (Guide to Instruments and Methods of Observation, WMO-No. 8)). Nell'ambito della manutenzione, le pratiche di calibrazione necessarie dovrebbero essere tracciabili rispetto agli standard forniti dalla Guida. La gestione dei cambiamenti nei siti deve essere accompagnata da periodi di sovrapposizione adeguati durante la transizione ai nuovi sistemi, da attività di calibrazione regolari e dalla correzione delle distorsioni introdotte dai cambiamenti nell'ambiente circostante la stazione.
- È necessario sviluppare un piano nazionale per l'archiviazione dei dati giornalieri e dei metadati relativi a ciascuna stazione climatica. I metadati devono includere i dati relativi all'installazione della stazione, alla sua successiva manutenzione e ai cambiamenti nell'esposizione, nella strumentazione e nel personale. È auspicabile disporre di fotografie da nord, sud, est e ovest, che devono essere aggiornate in caso di cambiamenti nell'ambiente della stazione. I dati e i metadati devono essere conservati nella loro forma originale e in formato digitale."

WMO-NO. 1160: MANUAL ON THE WMO INTEGRATED GLOBAL OBSERVING SYSTEM

APPENDICE 2.1. PRINCIPI DI PROGETTAZIONE DELLE RETI DI OSSERVAZIONE

1. "SERVIZIO A MOLTEPLICI SETTORI DI APPLICAZIONE
   Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate in modo da soddisfare i requisiti di molteplici settori di applicazione nell'ambito dei programmi della WMO e dei programmi co-sponsorizzati dalla WMO.
2. RISPOSTA ALLE ESIGENZE DEGLI UTENTI
   Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate per soddisfare le esigenze dichiarate dagli utenti in termini di variabili geofisiche da osservare nei domini pertinenti (strati verticali e copertura orizzontale), risoluzione spazio-temporale, incertezza, tempestività e stabilità necessarie, tenendo conto delle priorità relative.
3. SODDISFAZIONE DEI REQUISITI NAZIONALI, REGIONALI E GLOBALI
   Le reti di osservazione progettate per soddisfare le esigenze nazionali dovrebbero anche tenere conto delle esigenze della WMO a livello regionale e globale.

4. PROGETTAZIONE DI RETI ADEGUATAMENTE DISTANZIATE
   Laddove le esigenze degli utenti di alto livello implicano la necessità di uniformità spaziale e temporale delle osservazioni, la progettazione della rete dovrebbe anche tenere conto di altre esigenze degli utenti, quali la rappresentatività e l'utilità delle osservazioni.
5. PROGETTAZIONE DI RETI ECONOMICAMENTE EFFICIENTI
   Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate in modo da utilizzare le risorse disponibili nel modo più efficiente possibile in termini di costi. Ciò comporterà il ricorso a reti di osservazione composite.
6. OTTENIMENTO DELL'OMOGENEITÀ DEI DATI OSSERVATIVI
   Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate in modo tale che il livello di omogeneità dei dati osservativi forniti soddisfi le esigenze delle applicazioni previste.
7. PROGETTAZIONE ATTRAVERSO UN APPROCCIO A PIÙ LIVELLI
   La progettazione delle reti di osservazione dovrebbe utilizzare una struttura a piani, attraverso la quale le informazioni provenienti da osservazioni di riferimento di alta qualità possano essere trasferite ad altre osservazioni e utilizzate per migliorarne la qualità e l'utilità.
8. PROGETTAZIONE DI RETI AFFIDABILI E STABILI
   Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate in modo da essere affidabili e stabili.
9. MESSA A DISPOSIZIONE DEI DATI OSSERVATIVI
   Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate e sviluppate in modo tale da garantire che le osservazioni siano messe a disposizione degli altri membri della WMO, con risoluzioni spazio-temporali e tempestività che soddisfino le esigenze delle applicazioni regionali e globali.
10. FORNIRE INFORMAZIONI AFFINCHÉ LE OSSERVAZIONI POSSANO ESSERE INTERPRETATE
    Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate e gestite in modo tale che i dettagli e la storia degli strumenti, i loro ambienti e le condizioni operative, le loro procedure di elaborazione dei dati e altri fattori pertinenti alla comprensione e all'interpretazione dei dati osservativi (cioè i metadati) siano documentati e trattati con la stessa cura dei dati stessi.
11. REALIZZAZIONE DI RETI SOSTENIBILI
    È opportuno promuovere il miglioramento della disponibilità continua delle osservazioni attraverso la progettazione e il finanziamento di reti sostenibili nel lungo periodo, anche, se del caso, attraverso la transizione dei sistemi di ricerca allo stato operativo.
12. GESTIRE IL CAMBIAMENTO
    La progettazione di nuove reti di osservazione e le modifiche alle reti esistenti dovrebbero garantire un'adeguata coerenza, qualità e continuità delle osservazioni durante la transizione dal vecchio sistema al nuovo.
13. PROMUOVERE LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE
    L'impatto ambientale delle reti di osservazione dovrebbe essere preso in considerazione nella loro progettazione e nel loro funzionamento. I progressi nella sostenibilità ambientale delle reti dovrebbero essere promossi laddove siano disponibili soluzioni praticabili che soddisfino le esigenze degli utenti."

APPENDICE 2.2. PRINCIPI DI MONITORAGGIO CLIMATICO DEL SISTEMA GLOBALE DI OSSERVAZIONE DEL CLIMA

"I seguenti principi hanno lo scopo di fornire una guida a coloro che sono coinvolti nella progettazione, nello sviluppo, nell'implementazione e nella gestione di sistemi di osservazione per esigenze legate al clima in tutti i

domini (superficie, sopra la superficie e sotto la superficie), tutte le piattaforme di osservazione e tutte le Variabili Climatiche Essenziali (ECV). Essi rispondono alle esigenze di generare serie di dati per il monitoraggio del sistema climatico e dei suoi cambiamenti, per supportare le applicazioni climatiche, per sostenere valutazioni come quelle dell'IPCC e per informare l'azione delle Parti dell'UNFCCC. Pertanto, questi principi di monitoraggio climatico del GCOS dovrebbero essere integrati nei piani di osservazione nazionali, regionali e globali, in risposta ai piani di attuazione del GCOS e alle relazioni sullo stato del GCOS, con l'obiettivo di creare un sistema di osservazione globale coerente per il clima attraverso uno sforzo coordinato a livello internazionale.

Molti di questi principi sono anche correlati ai principi di progettazione della rete di osservazione specificati nel presente manuale. I principi sono espressi utilizzando il termine "dovrebbe" piuttosto che "deve". Tuttavia, il mancato rispetto di questi principi rischia di limitare in modo significativo l'utilità delle osservazioni raccolte per scopi rilevanti per il clima.

Principi:

1. *Campionamento spaziale e temporale*: è fondamentale che le osservazioni campionino il sistema terrestre in modo tale da poter individuare i cambiamenti climatici rilevanti a livello giornaliero, stagionale, interannuale e a lungo termine. Quando esiste la possibilità di colmare le lacune nel sistema di osservazione esistente, è necessario dare la priorità alle regioni con scarsa disponibilità di dati, ai parametri scarsamente osservati, alle regioni sensibili ai cambiamenti e alle misurazioni chiave con risoluzione temporale inadeguata.
2. *Progettazione del sistema*: i sistemi di osservazione dovrebbero comprendere sia piattaforme in situ che di telerilevamento, a seconda dei rispettivi punti di forza e limiti. I requisiti di monitoraggio climatico relativi al campionamento spaziale e temporale appropriato, alla precisione e all'accuratezza degli strumenti e alla stabilità dovrebbero essere specificati ai progettisti dei sistemi di osservazione, agli operatori e agli ingegneri strumentali all'inizio della progettazione e dell'implementazione del sistema. I sistemi di osservazione dovrebbero includere osservazioni di riferimento per garantire serie temporali di misurazioni ben caratterizzate, riconducibili agli standard SI e/o comunitari, con incertezze quantificate in modo robusto che possano essere utilizzate con fiducia. Dovrebbero essere condotte revisioni periodiche per valutare la fattibilità e i vantaggi dell'integrazione di nuove tecnologie nei sistemi di osservazione.
3. *Sostenibilità del sistema*: per le osservazioni in situ, è necessario mantenere il più a lungo possibile il funzionamento delle stazioni storicamente ininterrotte e che soddisfano i requisiti specificati in materia di calibrazione, stabilità e ubicazione. Per quanto riguarda le misurazioni satellitari, la continuità dovrebbe essere garantita attraverso adeguate strategie di lancio e orbitali. I sistemi e le reti di osservazione rilevanti per la ricerca climatica dovrebbero essere mantenuti e portati a uno stato operativo.
4. *Gestione dei cambiamenti del sistema*: l'impatto dei nuovi sistemi o delle modifiche ai sistemi esistenti dovrebbe essere valutato prima dell'implementazione. Dovrebbe essere garantito un periodo adeguato di sovrapposizione tra i nuovi e i vecchi strumenti e sistemi di osservazione, di durata sufficiente a determinare gli scostamenti tra gli strumenti e a mantenere l'omogeneità e la coerenza delle serie temporali delle osservazioni
5. *Metadati*: al fine di garantire l'utilità delle osservazioni, i dettagli e la cronologia delle condizioni locali, l'ubicazione del sito, gli strumenti, le procedure operative, gli algoritmi di elaborazione dei dati, gli errori e le distorsioni dei dati e altri fattori pertinenti all'interpretazione dei dati (cioè i metadati) e le loro variazioni nel tempo dovrebbero essere documentati e trattati con la stessa cura dei dati stessi.

6. *Calibrazione*: prima dell'installazione di un nuovo strumento o di una nuova piattaforma di osservazione, le sue caratteristiche tecniche, quali accuratezza, precisione e stabilità, devono essere rigorosamente documentate e calibrate al fine di garantire la conformità ai requisiti relativi al clima. La calibrazione deve essere riconducibile alle unità SI o alle osservazioni di riferimento. Dopo l'installazione, tutti i componenti del sistema devono essere regolarmente ricalibrati o comunque valutati per garantire la massima qualità dei dati.
7. *Qualità e omogeneità dei dati*: la qualità e l'omogeneità dei dati devono essere valutate regolarmente nell'ambito delle operazioni di routine. Gli errori casuali e le distorsioni nelle osservazioni devono essere identificati e documentati.
8. *Conservazione dei dati e dei metadati*: i dati e i metadati devono essere conservati per un'archiviazione e un recupero sicuri e a lungo termine in un archivio appropriato, in conformità con le norme internazionali pertinenti.
9. *Accesso ai dati*: i sistemi di gestione dei dati che facilitano l'accesso, l'uso e l'interpretazione dei dati e dei prodotti devono essere inclusi come elementi essenziali dei sistemi di monitoraggio climatico. Tali sistemi devono facilitare l'accesso aperto degli utenti ai prodotti climatici, ai metadati e ai dati grezzi, compresi i dati chiave per l'analisi in modalità ritardata, in linea con la politica unificata sui dati della WMO (Risoluzione 1).
10. *Sfruttamento dei dati*: le osservazioni raccolte dovrebbero essere utilizzate per generare serie di dati relativi alle variabili climatiche essenziali. Al fine di stare al passo con l'evoluzione delle tecnologie, dei requisiti e dei metodi relativi al clima, tali serie di dati dovrebbero essere mantenute, valutate regolarmente e rielaborate secondo necessità."

WMO-NO. 1165: GUIDE TO THE WMO INTEGRATED GLOBAL OBSERVING SYSTEM

4.1 Introduzione

"I principi di progettazione della rete di osservazione sono riportati nel Manuale sul WIGOS, Appendice 2.1. I 13 principi sono brevi e quindi astratti. I servizi meteorologici e idrologici nazionali (NMHS) che progettano e sviluppano le loro reti di sistemi di osservazione necessitano di indicazioni più concrete su come rispondere a questi principi. Il presente capitolo fornisce quindi, per ciascun principio, una serie di linee guida o raccomandazioni più specifiche sulla loro interpretazione e attuazione.

Alcune raccomandazioni si applicano a più principi. Per facilitare l'interpretazione, questi punti sono ripetuti ove applicabile.

In alcuni casi, nel presente capitolo vengono utilizzati termini piuttosto astratti. Questi termini hanno talvolta origine in un settore specifico dell'osservazione meteorologica, come l'osservazione da terra.

I termini "progettazione della rete" e "reti di osservazione", ad esempio, sono regolarmente utilizzati e accettati quando si descrive il processo di creazione di una rete di siti di osservazione terrestri in un paese e quindi quando si considerano aspetti quali la distanza appropriata tra le stazioni, altre condizioni di ubicazione o la frequenza delle osservazioni. Il termine "progettazione della rete" può essere e viene già utilizzato nel settore delle osservazioni spaziali. Tuttavia, questa applicazione aggiuntiva non è stata ancora adottata in modo generalizzato. È quindi importante riconoscere che molte linee guida e raccomandazioni contenute nel presente capitolo,

quando fanno riferimento, ad esempio, alla "progettazione della rete" o alle "reti di osservazione", non sono necessariamente limitate alle osservazioni terrestri, ma dovrebbero essere applicate a tutti i sistemi di osservazione.

A volte vengono utilizzati anche termini e definizioni astratti o concettuali, ad esempio "rete integrata di stazioni", allo scopo di rendere alcune linee guida e raccomandazioni più generalmente applicabili."

Principio 1. Servire molteplici aree di applicazione

(Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate per soddisfare i requisiti di molteplici aree di applicazione nell'ambito dei programmi WMO e co-sponsorizzati dalla WMO)

a. Nella progettazione delle reti di osservazione, occorre tenere conto delle esigenze delle aree di applicazione WMO, come stabilito nel Manuale WIGOS. In particolare, si vedano il processo di revisione continua dei requisiti della WMO, la banca dati WIGOS dei requisiti degli utenti per le osservazioni (OSCAR/Requirements) e le dichiarazioni di orientamento, che insieme rappresentano tutti i settori di applicazione, nonché le *High-Level Guidance on the Evolution of Global Observing Systems During the Period 2023–2027 in Response to the Vision for WIGOS in 2040* (WMO-No. 1334). Ad esempio, la progettazione delle reti di osservazione implementate principalmente a supporto delle previsioni meteorologiche operative dovrebbe tenere conto anche dei requisiti di altre aree di applicazione, come il monitoraggio del clima.

b. Ove possibile, le reti di osservazione dovrebbero essere progettate e gestite in modo tale da soddisfare le esigenze di molteplici applicazioni. È noto che applicazioni diverse hanno requisiti diversi e talvolta contrastanti; quando una rete di osservazione è implementata principalmente per soddisfare le esigenze di una sola applicazione, può essere necessario scendere a compromessi nella sua capacità di servire altre applicazioni. Tuttavia, i requisiti di altre applicazioni dovrebbero essere attivamente considerati durante la progettazione della rete.

c. Nell'ambito della gestione di una rete di osservazione, dovrebbe essere attuata una procedura di consultazione degli utenti attraverso la quale sia possibile accertare, esaminare e analizzare simultaneamente le esigenze dei diversi settori di applicazione (vedi anche il principio 2.).

d. Al fine di rispondere alle esigenze dei propri programmi, la WMO avvia partnership con altri organismi responsabili delle osservazioni attraverso programmi cofinanziati (vedere i commenti pertinenti nella premessa alla High-level Guidance on the Evolution of Global Observing Systems During the Period 2023–2027 in Response to the Vision for WIGOS in 2040 - WMO n. 1334). Queste partnership dovrebbero essere prese in considerazione nella progettazione delle reti di osservazione.

e. Le partnership con altre organizzazioni (come quelle coinvolte nel trasporto stradale o nella produzione di energia elettrica), comprese le organizzazioni partner responsabili delle osservazioni, dovrebbero essere sfruttate attraverso la progettazione integrata e multifunzionale delle reti di osservazione al fine di ottenere sinergie tra le reti e/o i domini e migliorare l'efficacia in termini di costi.

Principio 2. Rispondere alle esigenze degli utenti

(Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate per soddisfare le esigenze dichiarate dagli utenti in termini di variabili geofisiche da osservare nei domini applicabili (strati verticali e copertura orizzontale), risoluzione spazio-temporale, incertezza, tempestività e stabilità necessarie, tenendo conto delle priorità relative).

a. Le comunità di utenti dovrebbero essere coinvolte nella progettazione delle reti di osservazione. Per garantire che le reti di osservazione rispondano alle esigenze fondamentali delle comunità di utenti, le

decisioni specifiche relative alla progettazione delle reti di osservazione dovrebbero includere una fase di consultazione con i rappresentanti delle aree di applicazione appropriate. Dovrebbe essere implementata una procedura che consenta la raccolta e la sintesi documentata delle esigenze dettagliate degli utenti.

b. Nel progettare le loro reti di osservazione, i membri dovrebbero tenere conto delle azioni elencate nella High-level Guidance on the Evolution of Global Observing Systems During the Period 2023–2027 in Response to the Vision for WIGOS in 2040 (WMO-No. 1334), nonché delle analisi delle lacune contenute nelle Dichiarazioni di orientamento per tutti i settori di applicazione.

c. I membri dovrebbero condurre ulteriori studi per valutare la fattibilità di soddisfare con la tecnologia esistente i requisiti degli utenti in materia di osservazione specificati nell'OSCAR, comprese le differenze nei requisiti, nonché i requisiti dettagliati aggiuntivi che potrebbero non essere specificati nell'OSCAR e nei requisiti nazionali, tenendo conto delle risorse e dell'efficacia in termini di costi (vedi anche il Principio 5.).

d. I dati osservativi dovrebbero essere elaborati a un livello da stabilire in consultazione con gli utenti (ad esempio, dati grezzi degli strumenti, dati calibrati degli strumenti o variabili geofisiche recuperate). Ciò dovrebbe includere un accordo sul controllo di qualità, i formati, ecc. Il livello appropriato di elaborazione varierà in base alle esigenze delle comunità di utenti e alle applicazioni previste. Risorse adeguate dovrebbero essere assegnate a questi requisiti di elaborazione dei dati. Inoltre, se supportato dai requisiti degli utenti, dovrebbero essere assegnate risorse adeguate all'archiviazione dei dati grezzi e dei metadati, in modo che i dati possano essere rielaborati in un secondo momento.

Principio 3. Soddisfare i requisiti nazionali, regionali e globali

(Le reti di osservazione progettate per soddisfare le esigenze nazionali dovrebbero tenere conto anche delle esigenze della WMO a livello regionale e globale).

a. Le reti di osservazione nazionali sono progettate e istituite dai membri principalmente per rispondere alle proprie esigenze/requisiti nazionali, in molti casi d'intesa con altri membri e in conformità con il materiale normativo e di orientamento della WMO. Tuttavia, nell'attuazione di queste reti nazionali, i membri dovrebbero anche tenere conto dei requisiti per le applicazioni globali e regionali. Ad esempio, i membri dovrebbero prendere in considerazione piccoli impegni o adeguamenti aggiuntivi (ad esempio in termini di archiviazione dei dati, politica dei dati, disponibilità, scambio e documentazione) per rendere i dati utili agli altri membri.

b. Le norme WIGOS dovrebbero essere adottate per le reti di osservazione attuate principalmente per rispondere alle esigenze nazionali.

c. Le procedure attraverso le quali vengono raccolti e valutati i requisiti degli utenti nazionali (cfr. principio 2, paragrafo (a)) dovrebbero essere concepite in modo tale da poter soddisfare contemporaneamente i requisiti regionali e globali.

d. Per ogni rete/sito nazionale, dovrebbe essere mantenuto un documento di definizione della rete/sito contenente informazioni su:

    i. Capacità di osservazione previste della rete/sito;

    ii. Prestazioni obiettivo;

    iii. Requisiti degli utenti a cui la rete/sito risponde.

Principio 4. Progettazione di reti con spaziatura adeguata

(Laddove requisiti di alto livello da parte degli utenti implichino la necessità di uniformità spaziale e temporale delle osservazioni, la progettazione della rete dovrebbe tenere conto anche di altre esigenze degli utenti, quali la rappresentatività e l'utilità delle osservazioni).

a. In generale, la rete di osservazione composita dovrebbe essere progettata in modo tale da fornire osservazioni di base che siano quasi uniformi nello spazio per le variabili osservate e risultanti da un'analisi dei requisiti di risoluzione 3D forniti in OSCAR. Le lacune dovrebbero essere valutate in conformità con il *Manual on the WIGOS* (si veda anche il Principio 5 per indicazioni sulla progettazione di reti composite).

b. Tuttavia, per alcune aree di applicazione, la rappresentatività delle osservazioni può essere un fattore di progettazione più importante dell'omogeneità spaziale e temporale. In tali casi, la densità di una rete di osservazione dovrebbe essere adeguata in funzione della variabilità dei fenomeni osservati in una data regione, ad esempio per rispondere alla necessità di una maggiore densità di alcune osservazioni nelle zone montuose e costiere dove esistono forti gradienti nelle variabili geofisiche. Inoltre, le reti di osservazione dovrebbero essere progettate con una spaziatura spaziale e temporale tale da consentire di rilevare eventi gravi, estremi e ad alto impatto, spesso di breve durata, e di risolvere i cambiamenti rilevanti dal punto di vista climatico (ad esempio, diurni, stagionali e interannuali a lungo termine).

c. Nel considerare le priorità per ulteriori osservazioni, occorre prestare attenzione alle regioni e ai domini con scarsa disponibilità di dati, alle variabili scarsamente osservate, alle regioni sensibili ai cambiamenti e alle regioni che subiscono fenomeni ambientali che mettono a rischio le popolazioni. Poiché queste non si trovano sempre all'interno del territorio del paese che necessita delle osservazioni, è necessario acquisire osservazioni in aree al di fuori del territorio della nazione o del gruppo di nazioni che finanziano il progetto.

d. Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate tenendo conto delle misurazioni e delle lacune di altri sistemi nelle vicinanze, come le misurazioni che utilizzano la stessa tecnologia nei paesi vicini o le misurazioni provenienti da reti che utilizzano tecnologie diverse, sia di superficie che spaziali.

e. Le osservazioni terrestri devono essere rappresentative per applicazioni specifiche. I siti rappresentativi delle caratteristiche locali dovrebbero essere generalmente evitati (ad esempio, su pendii ripidi, in avvallamenti, in prossimità di caratteristiche pronunciate come edifici, influenze topografiche o creste), a meno che non siano situati per uno scopo e un'applicazione specifici.

f. Le osservazioni non NMHS possono fornire misurazioni preziose per colmare le lacune osservative. In molte aree queste potrebbero essere le uniche osservazioni disponibili, in particolare per elementi che richiedono misurazioni a densità più elevata come le precipitazioni e gli eventi estremi come la grandine o le tempeste di vento. Gli NMHS dovrebbero valutare la possibilità di collaborare con altri soggetti all'interno del proprio paese al fine di integrare le reti esistenti, condividere le risorse e colmare le lacune. Per le osservazioni di questo tipo, occorre prestare particolare attenzione alle possibili questioni relative alla politica in materia di dati e seguire le indicazioni fornite al Principio 3, paragrafo (a).

g. Ove possibile, è opportuno utilizzare strumenti oggettivi per valutare l'impatto e i benefici delle osservazioni, anche al fine di dimostrare l'impatto della densità delle osservazioni. Tali strumenti (ad esempio, esperimenti sui sistemi di osservazione, esperimenti di simulazione dei sistemi di osservazione o sensibilità delle previsioni alle osservazioni) esistono nella previsione meteorologica numerica e sono ben collaudati. Si incoraggia lo sviluppo di strumenti equivalenti per altri settori di applicazione.

Principio 5. Progettazione di reti economicamente efficienti

(Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate in modo da garantire un utilizzo delle risorse disponibili il più efficiente possibile in termini di costi. Ciò comporterà il ricorso a reti di osservazione composite).

a. Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate utilizzando le tecnologie o le combinazioni di tecnologie più appropriate ed economicamente efficienti. È opportuno consultare i documenti di orientamento sulle tecnologie esistenti. Ad esempio, è possibile fare riferimento alla *Guide to Instruments and Methods of Observation* (WMO-n. 8), alla *Guide to Climatological Practices* (WMO-No. 100), capitolo 2, 2.5; la *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (WMO-No. 134), capitolo 2, 2.2.4 e 2.4.1.11.3; e la *Guide to the Global Observing System* (WMO-No. 488), Parte III, 3.1.

b. Gli sviluppi delle reti di osservazione dovrebbero, ove possibile, basarsi sul consolidamento delle sottoreti esistenti e portare al loro consolidamento, sfruttando sia le tecnologie esistenti che quelle nuove e integrando le nuove reti nelle capacità WIGOS esistenti.

c. La rete di osservazione dovrebbe evolversi in risposta alle mutevoli esigenze degli utenti. I progetti dovrebbero essere sufficientemente flessibili da consentire un'espansione o una contrazione graduale, senza la necessità di una completa riprogettazione della rete.

d. Dovrebbero essere istituite o mantenute partnership con altre organizzazioni responsabili delle osservazioni al fine di sfruttare le potenziali sinergie, condividere i costi e fornire reti multifunzionali più convenienti. Altre organizzazioni possono includere i partner della WMO (vedi i commenti pertinenti nella *High-level Guidance on the Evolution of Global Observing Systems During the Period 2023–2027 in Response to the Vision for WIGOS in 2040*, WMO No. 1334) o organizzazioni governative e non governative nazionali.

e. La progettazione delle reti di osservazione dovrebbe, ove possibile, basarsi sui risultati di studi scientifici che valutano l'impatto, l'importanza e il valore delle osservazioni per le applicazioni a cui contribuiscono. Nella fase di progettazione delle reti dovrebbero inoltre essere condotti studi complementari sul rapporto impatto-costo, al fine di valutare il rapporto costo-efficacia dei vari sistemi di osservazione possibili.

f. Le reti di osservazione spaziali e terrestri dovrebbero essere progettate e gestite in modo da essere complementari, con attività e cooperazione adeguate tra le comunità responsabili di tali reti, al fine di garantire che le osservazioni di ciascuna rete siano utilizzate per migliorare l'impatto e l'efficacia dell'altra.

g. Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate tenendo conto delle misurazioni disponibili da altre reti nelle vicinanze, compresi i paesi limitrofi, o delle misurazioni provenienti da reti che utilizzano tecnologie diverse.

h. Per ottimizzare i benefici all'interno del proprio territorio, una rete di osservazione efficace può richiedere investimenti al di fuori del territorio del Membro. Ciò può essere realizzato, ad esempio, attraverso la collaborazione regionale.

i. La progettazione della rete può includere la necessità di osservazioni visive/manuali e di osservazioni di fenomeni non necessariamente ben rilevati/identificati dai sistemi automatizzati o che sono più convenienti dal punto di vista economico se rilevati manualmente.

Principio 6. Raggiungere l'omogeneità nei dati osservativi

(Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate in modo tale che il livello di omogeneità dei dati osservativi forniti soddisfi le esigenze delle applicazioni previste).

a. Per garantire il raggiungimento di livelli di qualità osservativa coerenti con le esigenze degli utenti, dovrebbero essere impiegate solo tecnologie di osservazione le cui prestazioni siano state adeguatamente caratterizzate.

b. Le reti di osservazione dovrebbero essere gestite in modo da soddisfare gli obiettivi di prestazione concordati.

c. Le reti e le stazioni di osservazione dovrebbero essere valutate regolarmente utilizzando criteri oggettivi per garantire il rispetto degli standard di prestazione desiderati.

d. Nell'ambito delle operazioni di routine, la qualità e l'omogeneità dei dati dovrebbero essere valutate regolarmente attraverso un programma continuo di monitoraggio delle prestazioni della rete. Ciò può includere controlli sia automatici che manuali.

e. È necessario attuare un monitoraggio completo della disponibilità, della tempestività e della qualità dei dati. Per i tipi di osservazione appropriati, ciò dovrebbe includere il monitoraggio delle previsioni meteorologiche numeriche a breve termine. Il monitoraggio dovrebbe essere attuato anche per aiutare a individuare vari tipi di errori, ad esempio dati non tempestivi o mancanti, osservazioni codificate in modo errato e misurazioni gravemente errate.

f. I risultati del monitoraggio possono essere resi disponibili in diversi modi, ad esempio tramite portali web, relazioni periodiche (revisione delle statistiche complessive sulle prestazioni) o segnalazioni di guasti (con particolare attenzione agli errori rilevati in siti specifici).

g. Quando si effettuano trasferimenti di stazioni o aggiornamenti degli strumenti, occorre prevedere, ove possibile, un periodo di sovrapposizione sufficiente tra il vecchio e il nuovo sistema, tenendo conto delle aree di applicazione previste (vedi anche Principio 12)

h. La disponibilità di metadati completi è essenziale per valutare l'omogeneità delle osservazioni (vedi anche Principio 10).

i. Per molte applicazioni, compreso il monitoraggio del clima, è importante che la calibrazione, il monitoraggio della calibrazione e l'intercalibrazione siano progettati come parte della rete di osservazione. Per le applicazioni in tempo (quasi) reale, è importante che le informazioni di calibrazione siano rese disponibili in tempo (quasi) reale. È inoltre importante che i dati grezzi siano archiviati in modo da poter essere rielaborati in un secondo momento per migliorarne l'omogeneità.

j. È opportuno effettuare confronti incrociati e convalide delle osservazioni effettuate con tecnologie diverse al fine di migliorare la comprensione dell'incertezza osservativa o delle prestazioni relative (distorsione, deviazione standard, errori grossolani).

k. Sebbene alcune osservazioni non NMHS possano essere raccolte utilizzando formati non standard, ove possibile tutte le osservazioni dovrebbero essere diffuse utilizzando regole di qualità standard, formati standard e secondo procedure di diffusione standard.

l. Le osservazioni dovrebbero essere diffuse in modo tale da preservare la qualità e la provenienza della misurazione originale.

m. I membri dovrebbero attribuire la massima priorità al mantenimento delle attività delle stazioni, dei siti e dei sistemi di osservazione che dispongono di serie di dati a lungo termine, in particolare per le applicazioni climatiche.

n. Per le applicazioni di monitoraggio climatico, le stazioni di superficie dovrebbero essere situate in luoghi che siano meno soggetti all'impatto dei cambiamenti nel tempo dell'ambiente naturale o antropico.

Principio 7. Progettazione attraverso un approccio a più livelli

(La progettazione delle reti dovrebbe utilizzare una struttura a più livelli, attraverso la quale le informazioni provenienti da osservazioni di riferimento di alta qualità possano essere trasferite ad altre osservazioni e utilizzate per migliorarne la qualità e l'utilità).

Nota: oltre a migliorare la qualità e l'utilità delle osservazioni, questo approccio porterà anche a un miglioramento della comprensione della qualità delle osservazioni.

a. L'approccio a più livelli dovrebbe includere, come minimo, una rete sparsa di stazioni di riferimento (ad esempio, la rete di riferimento GCOS per l'alta atmosfera) rispetto alle quali possano essere confrontate le altre stazioni. Le stazioni di riferimento dovrebbero essere calibrate secondo il Sistema Internazionale di Unità di Misura o secondo standard tracciabili accettati dalla comunità con incertezze completamente quantificate, avere il massimo livello di robustezza (ad esempio, sensori duplicati o triplicati di variabili chiave come la temperatura e le precipitazioni), essere ben posizionate in luoghi meno influenzati dall'urbanizzazione e da altre influenze non climatiche, avere una manutenzione regolare e un ciclo di sostituzione degli strumenti, avere i più alti standard di raccolta dei metadati, compresa la documentazione fotografica, e avere un monitoraggio continuo delle prestazioni del sistema per risolvere i problemi strumentali e ambientali man mano che si presentano.
b. Stazioni appartenenti alle reti di riferimento del Global Climate Observing System (la rete di superficie GCOS e la rete di alta quota GCOS) possono costituire un livello intermedio di dati, con una qualità compresa tra quella delle stazioni di riferimento e quella della rete più ampia e completa di stazioni di osservazione.
c. Anche nelle stazioni non di riferimento, la ridondanza degli strumenti dovrebbe essere utilizzata, ove opportuno, per garantire l'affidabilità dell'osservazione e l'accuratezza delle misurazioni.
d. Una rete di altre stazioni NMHS o non NMHS può essere intervallata da un sottoinsieme di stazioni di alta qualità per una copertura più completa.
e. La progettazione della rete dovrebbe tenere conto delle competenze e della formazione necessarie per il personale, che dovrebbero essere diverse a seconda dei livelli della struttura a più livelli. Le competenze del personale delle stazioni di riferimento dovrebbero essere utilizzate per fornire orientamenti ad altre parti della rete.

Principio 8. Progettazione di reti affidabili e stabili

(Le reti di osservazione devono essere progettate in modo da essere affidabili e stabili).

a. La progettazione e l'implementazione delle reti di osservazione devono garantire il rispetto delle procedure e delle prassi operative standard, comprese adeguate procedure di manutenzione e calibrazione.
b. Per ogni rete occorre definire gli obiettivi relativi alla qualità dei dati. Sarà necessario prendere decisioni in merito al livello di controllo di qualità da applicare. Il controllo di qualità completamente automatico senza valutazione manuale può essere il più conveniente in termini di costi, ma in alcuni casi può comportare un livello di qualità inferiore.
c. I criteri per la selezione del sito della stazione dovrebbero essere basati sullo scopo e sul livello della rete. Dovrebbero essere presi in considerazione i criteri relativi alla durata di funzionamento della stazione/satellite, alle fonti di energia disponibili, alle opzioni di trasmissione dei dati e ai fattori associati all'omogeneità e all'ambiente locale.

d. La formazione dovrebbe essere commisurata al livello della rete. Una rete di base costituita da osservazioni manuali dovrebbe concentrarsi su tecniche di osservazione e metodi di registrazione e diffusione dei dati affidabili. Per le reti automatizzate, la formazione dovrebbe concentrarsi in misura maggiore sulla manutenzione e il funzionamento degli strumenti e sui metodi di raccolta automatica dei dati. Il funzionamento delle reti di riferimento richiederà il massimo livello di formazione e standard più elevati per la calibrazione, l'ispezione, la manutenzione e la gestione.

e. Le reti di osservazione, sia le stazioni terrestri che i sistemi spaziali, e le loro telecomunicazioni dovrebbero essere progettate in modo da essere resistenti all'esposizione a condizioni meteorologiche avverse e idrologiche, climatiche e ambientali (come tempeste geomagnetiche o detriti spaziali nel caso dei satelliti).

f. Ove possibile, dovrebbe essere utilizzata una combinazione di fonti di energia standard e di riserva (fonti sostenibili quali energia solare, idrica ed eolica per le stazioni terrestri e altre fonti appropriate per i satelliti) al fine di garantire un funzionamento ininterrotto delle piattaforme di osservazione in tutte le condizioni ambientali.

g. Ove possibile, i dati dovrebbero essere messi a disposizione dei centri di raccolta globali dove è possibile effettuare il monitoraggio dei dati e fornire un riscontro quasi in tempo reale sulla qualità degli stessi, compresa la frequenza e la natura degli errori di osservazione, le percentuali di segnalazione, la completezza e la tempestività.

h. Le procedure di monitoraggio descritte al principio 6 dovrebbero anche contribuire a valutare l'affidabilità e la stabilità attuali e a lungo termine delle reti.

i. Il funzionamento delle operazioni di una rete di monitoraggio e delle sue componenti dovrebbe essere monitorato e supportato da un sistema di gestione degli incidenti e dei guasti, al fine di migliorare l'affidabilità e la stabilità della rete.

j. Per il monitoraggio del clima, occorre prestare particolare attenzione al mantenimento delle stazioni con registrazioni storiche ininterrotte di lunga durata e al mantenimento della loro omogeneità in termini di ubicazione, strumentazione e procedure di osservazione.

k. L'archiviazione parallela dei dati a lungo termine (ad esempio, in loco) dovrebbe essere concepita in modo da integrare la diffusione in tempo reale, contribuendo così a garantire la conservazione delle osservazioni originali (ad esempio, in loco) per consentire il livello più elevato di qualità e completezza richiesto dalle applicazioni climatiche.

l. I siti delle stazioni dovrebbero essere selezionati in aree meno soggette all'impatto di fattori quali nuove costruzioni che costringerebbero al trasferimento delle stazioni.

Principio 9. Rendere disponibili i dati osservativi

(Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate e sviluppate in modo tale da garantire che le osservazioni siano messe a disposizione degli altri membri della WMO, con risoluzioni spazio-temporali e tempestività tali da soddisfare le esigenze delle applicazioni regionali e globali).

a. È necessario colmare le lacune nella disponibilità dei dati rispetto ai requisiti dichiarati dagli utenti. I membri dovrebbero: (i) adoperarsi per raccogliere e diffondere le osservazioni effettuate ma non attualmente raccolte a livello centrale; (ii) scambiare i dati esistenti a livello internazionale in conformità con il *Manual on the WIGOS*; e (iii) migliorare la tempestività dei dati.

b. È necessario istituire meccanismi per ridurre al minimo la perdita dei dati osservativi esistenti e promuovere il recupero dei dati storici per le applicazioni climatiche.

c. È necessario utilizzare metodi di diffusione multipli e sovrapposti (ad esempio, attraverso canali multipli) conformi al *Manual on the Global Telecommunication System* (WMO-No. 386) per migliorare la continuità della fornitura dei dati agli utenti.

d. Per gestire la rapida crescita dei volumi di dati dei sistemi di osservazione telerilevamento a scansione 2D e 3D (come satelliti e radar), dovrebbero essere presi in considerazione concetti di cloud e altri metodi per espandere le capacità di telecomunicazione.

e. Per facilitare la disponibilità e l'accesso ai dati, per lo scambio di dati dovrebbero essere utilizzati i formati standard definiti dalla WMO.

Per applicazioni climatiche

f. Tutti i dati grezzi e i sottoinsiemi concordati di dati elaborati dovrebbero essere raccolti in un registro documentato e permanente di dati e metadati secondo standard comuni (vedi, ad esempio, *Guideline for the Generation of Datasets and Products Meeting GCOS Requirements, GCOS Report No. 143*, WMO/TD n. 1530) e archiviati in un centro dati mondiale o in un altro centro dati riconosciuto.

g. È necessaria una capacità operativa sostenuta per produrre e mantenere il registro dei dati archiviati durante e dopo la vita della rete di osservazione.

h. È necessario stanziare risorse per garantire un'adeguata rielaborazione dei dati osservativi al fine di rispondere alle esigenze delle applicazioni climatiche.

Principio 10. Fornire informazioni che consentano l'interpretazione delle osservazioni

(Le reti di osservazione dovrebbero essere progettate e gestite in modo tale che i dettagli e la storia degli strumenti, i loro ambienti e le condizioni operative, le loro procedure di elaborazione dei dati e altri fattori pertinenti alla comprensione e all'interpretazione dei dati osservativi (cioè i metadati) siano documentati e trattati con la stessa cura riservata ai dati stessi).

a. Le pratiche relative ai metadati dovrebbero essere conformi allo standard sui metadati specificato nel Manuale sul WIGOS e nello *WIGOS Metadata Standard* (WMO-No. 1192).

b. I membri dovrebbero seguire procedure standard per raccogliere, controllare, condividere e distribuire i metadati WIGOS necessari per lo scambio internazionale, al fine di garantire un uso omogeneo dei dati osservativi e la conoscenza della loro qualità e tracciabilità; ulteriori metadati WIGOS dovrebbero essere registrati dai membri e resi disponibili su richiesta.

c. I metadati delle stazioni dovrebbero essere creati al momento dell'installazione della rete e aggiornati regolarmente per includere informazioni quali l'ubicazione della stazione, l'ambiente circostante, il tipo di strumentazione e le metriche di calibrazione, le pratiche di osservazione e la manutenzione. Ove possibile, dovrebbero essere scattate e archiviate annualmente immagini fotografiche della stazione e dell'ambiente.

d. I metadati WIGOS dovrebbero essere aggiornati ogni volta che si verificano cambiamenti, compresi quelli relativi alla protezione e all'esposizione, ai calcoli medi, alle ore di osservazione, all'uso del suolo, ai tipi di strumenti, al controllo di qualità, all'omogeneizzazione e alle procedure di recupero dei dati.

e. Ove possibile, gli utenti dovrebbero essere informati in anticipo dei cambiamenti relativi agli strumenti e all'elaborazione dei dati.

Principio 11. Realizzazione di reti sostenibili

(Il miglioramento della disponibilità continuativa delle osservazioni dovrebbe essere promosso attraverso la progettazione e il finanziamento di reti sostenibili nel lungo termine, anche, se del caso, attraverso la transizione dei sistemi di ricerca verso uno stato operativo).

Nota: in questo contesto, "sostenibile" significa che la rete può essere mantenuta nel medio-lungo termine. Ciò è auspicabile per la maggior parte delle applicazioni operative ed è necessario per il monitoraggio del clima. I requisiti di robustezza dei sistemi e di adeguata qualità dei dati sono discussi in altri principi.

a. Ove opportuno, alcuni sistemi basati sulla ricerca, vale a dire quelli maturi ed economicamente efficienti, dovrebbero evolvere verso uno status di finanziamento sicuro e a lungo termine, mantenendo o migliorando la disponibilità e la qualità delle osservazioni.
b. La transizione dei sistemi di osservazione basati sulla ricerca o delle nuove tecnologie di osservazione verso operazioni a lungo termine richiede un attento coordinamento tra i fornitori di dati e gli utenti (sia di ricerca che operativi).
c. I membri dovrebbero garantire che il loro finanziamento per le reti sostenibili rimanga sufficiente a lungo termine, tenendo conto delle evoluzioni e dei cambiamenti necessari (ad esempio, nella tecnologia).
d. La transizione dei sistemi di osservazione basati sulla ricerca o delle nuove tecnologie di osservazione verso operazioni a lungo termine dovrebbe includere la progettazione di sistemi robusti e mantenibili che garantiscano un'adeguata raccolta dei dati, il controllo della qualità, l'archiviazione e l'accesso.
e. I membri dovrebbero adottare misure per rendere disponibili agli utenti i dati preliminari, facendo tutto il possibile per facilitare la rapida diffusione e adozione dei nuovi dati, una volta che questi saranno operativi.
f. È opportuno stipulare un accordo scritto con un centro di archiviazione riconosciuto per la raccolta e l'archiviazione operativa delle osservazioni.
g. Nella scelta dei siti e delle stazioni, i progettisti e gli amministratori di rete dovrebbero prendere in considerazione ubicazioni che possano essere garantite tramite accordi a lungo termine (ad esempio, contratti di locazione o proprietà per i siti di osservazione a terra).

Principio 12. Gestione del cambiamento

(La progettazione di nuove reti di osservazione e le modifiche alle reti esistenti dovrebbero garantire un'adeguata coerenza, qualità e continuità delle osservazioni durante la transizione dal vecchio sistema al nuovo).

Nota: nel valutare quali cambiamenti potrebbero essere coerenti con la strategia della WMO, è opportuno fare riferimento alle *High-level Guidance on the Evolution of Global Observing Systems During the Period 2023–2027 in Response to the Vision for WIGOS in 2040*.

a. L'impatto dei nuovi sistemi o delle modifiche ai sistemi esistenti sulle applicazioni degli utenti dovrebbe essere valutato prima dell'implementazione, tenendo conto dei requisiti degli utenti in materia di osservazione in tutti i settori di applicazione.
b. È necessario un periodo adeguato di sovrapposizione tra i vecchi e i nuovi sistemi di osservazione (ovvero osservazioni parallele) per mantenere l'omogeneità e la coerenza delle osservazioni nel tempo.
c. Sono necessari banchi di prova e progetti pilota che consentano di testare e valutare i nuovi sistemi e di elaborare linee guida per la transizione operativa (compresa la produzione e la diffusione dei nuovi metadati necessari).

d. Ove possibile, si dovrebbero utilizzare strumenti oggettivi che valutino l'impatto e i benefici delle osservazioni per determinati ambiti applicativi, al fine di supportare la gestione del cambiamento.

Per le applicazioni climatiche

e. Per evitare lacune nella registrazione a lungo termine, la continuità delle misurazioni chiave dovrebbe essere garantita attraverso strategie appropriate.

f. Quando non è possibile un periodo di sovrapposizione tra il vecchio e il nuovo sistema, è opportuno ricorrere ad altri metodi, quali le osservazioni accoppiate (collocazione congiunta della strumentazione originale e di quella nuova).

g. Quando si introduce un cambiamento, è opportuno cercare di mantenere il maggior numero possibile di somiglianze tra il vecchio e il nuovo sistema (ad esempio, per i sistemi terrestri, esposizione simile del sito, procedure simili, strumenti e sensori simili).

Principio 13. Promuovere la sostenibilità ambientale

(Gli impatti ambientali delle reti di osservazione devono essere presi in considerazione nella loro progettazione e nel loro funzionamento. È opportuno promuovere il miglioramento della sostenibilità ambientale delle reti laddove siano disponibili soluzioni fattibili che soddisfino le esigenze degli utenti.)

Note:

1. Nel presente contesto, per "sostenibilità ambientale" si intende la pratica di conservare, mantenere e proteggere gli ecosistemi globali nella pianificazione dei sistemi di osservazione in tutti i settori, senza aggiungere un carico inutile sugli ecosistemi. Il Principio 13 «Promuovere la sostenibilità ambientale», il Principio 8 «Progettare reti affidabili e stabili» e il Principio 11 «Realizzare reti sostenibili» devono essere bilanciati nel contesto del valore dell'osservazione, come determinato da adeguate pianificazioni e valutazioni d'impatto.
2. Nel contesto del presente Principio, per «sistema di osservazione» si intende sia il sistema di osservazione in sé, sia le infrastrutture e i lavori necessari per la sua implementazione, il funzionamento e la dismissione (quali la costruzione di strade specifiche, edifici, generatori di energia, linee dati e elettriche, nonché i lavori di preparazione del terreno).

a. Gli impatti ambientali dovrebbero essere considerati per l'intero ciclo di vita di un sistema di osservazione, dalla progettazione, all'approvvigionamento, alla produzione e al trasporto, fino al funzionamento, alla manutenzione, alla calibrazione, alla dismissione e allo smaltimento.

b. Nella pianificazione di una rete di osservazione, occorre adoperarsi per garantire un funzionamento ottimizzato che riduca le duplicazioni e i relativi impatti ambientali negativi (ad esempio, occorre tenere conto dello spazio necessario, della manutenzione, delle visite in loco e del consumo energetico).

c. Nella fase di progettazione della rete si dovrebbero valutare le opportunità di attuare un approccio a più livelli, al fine di ridurre al minimo gli impatti ambientali negativi garantendo al contempo che la qualità dei dati di un sistema di osservazione sia adeguata allo scopo.

d. Si dovrebbe valutare l'adozione di metodi di osservazione innovativi e di tecnologie volte ad aumentare la sostenibilità ambientale. Le soluzioni potrebbero includere la scelta di attrezzature e infrastrutture robuste e riutilizzabili, nonché l'uso di materiali ecocompatibili e di fonti di energia rinnovabile.

e. In ogni fase del ciclo di vita di un sistema di osservazione, si dovrebbe prestare attenzione a ridurre al minimo gli impatti ambientali negativi dei rifiuti solidi e pericolosi. Ciò comprende la riduzione dei rifiuti in generale, nonché la garanzia di uno smaltimento adeguato.

f. Le attività di appalto dovrebbero prevedere, nei capitolati d'appalto, clausole che specifichino i requisiti in materia di sostenibilità ambientale.

6.5.1.3 Servizi meteorologici e idrologici nazionali

I servizi meteorologici e idrologici nazionali sono generalmente sostenuti dai rispettivi governi nazionali nella creazione e nella gestione di un sistema di osservazione che consenta loro di svolgere il proprio mandato fondamentale. A seconda della situazione nazionale, i National Meteorological and Hydrological Services (NMHS) sono spesso responsabili delle osservazioni meteorologiche e climatiche e possono anche essere responsabili delle osservazioni idrologiche, oceanografiche e di altro tipo. La crescente domanda di servizi e prodotti idrometeorologici su scale spaziali sempre più precise ha portato a una crescente domanda di osservazioni spazialmente più dense e integrate in tutti questi settori. Allo stesso tempo, molti NMHS stanno affrontando crescenti sfide logistiche ed economiche nel sostenere i loro attuali sistemi di osservazione e potrebbero non essere in grado, da soli, di implementare reti di osservazione che soddisfino questi nuovi requisiti. In questo contesto, è logico che gli NMHS guardino ad altri operatori come fonti di dati osservativi. Più in generale, i governi membri sono alla continua ricerca di approcci più convenienti per soddisfare le loro esigenze, comprese opportunità come WIGOS per massimizzare il valore delle capacità di osservazione nazionali esistenti.

L'obiettivo generale dell'integrazione di un maggior numero di dati osservativi all'interno del WIGOS è quello di stare al passo con le aspettative degli utenti e migliorare la qualità e il valore dei servizi, dei prodotti e della scienza dei membri. Al di là degli interessi nazionali, esiste anche l'obiettivo più ampio di migliorare la qualità dei servizi e della scienza a livello globale attraverso lo scambio internazionale di dati osservativi all'interno della WMO. In questo contesto, gli incentivi per i NMHS ad avviare partnership per i dati osservativi includono:

a. Colmare le lacune osservative:

   i. Aumentare la densità e la tempestività delle osservazioni, in particolare in luoghi ad alto impatto o regioni scarsamente osservate, o per parametri non osservati dal NMHS;

   ii. Migliorare l'accesso alle osservazioni in tempo reale delle condizioni attuali per la consapevolezza della situazione e le previsioni a breve termine;

b. Efficienza dei costi:

   i. Ottenere l'accesso alle osservazioni a costo zero o a basso costo;

   ii. Ottenere l'accesso a siti di osservazione dotati di infrastrutture energetiche e di comunicazione;

   iii. Ottenere l'accesso a siti di osservazione sicuri e monitorati non appartenenti ai NMHS (ad esempio, per prevenire atti di vandalismo);

   iv. Ridurre i costi infrastrutturali e operativi attraverso l'esternalizzazione delle operazioni delle stazioni;

c. Rafforzamento delle capacità di osservazione nazionali:

   i. Creazione di un sistema di osservazione nazionale più completo e robusto a supporto di un'ampia varietà di NMHS e altre applicazioni nazionali;

   ii. Miglioramento della valutazione e del controllo della qualità delle osservazioni utilizzando fonti di osservazione ridondanti e/o diversificate;

   iii. Aumento della qualità e dell'affidabilità complessive delle osservazioni nazionali attraverso la sensibilizzazione degli operatori non NMHS, la formazione, la promozione di standard e, potenzialmente, politiche o regolamenti nazionali;

d. Rafforzamento della leadership e della visibilità dei NMHS:

   i. Esercitare e dimostrare la leadership nazionale attraverso un ampio coinvolgimento e coordinamento, anche con il grande pubblico;

   ii. Rafforzare l'impegno dei NMHS e l'efficacia della loro missione;

iii. Ridurre i reclami o le critiche attraverso un coinvolgimento attivo con altre organizzazioni e il grande pubblico.

6.5.1.4 Operatori non NMHS

Gli operatori non NMHS hanno investito in sistemi di osservazione per soddisfare le esigenze specifiche delle loro organizzazioni o per altri motivi. Molti riconoscono anche che le osservazioni possono andare a beneficio della comunità in generale. Gli operatori non NMHS possono includere altre organizzazioni governative, istituti di ricerca, il settore commerciale, il mondo accademico, organizzazioni di volontariato e privati cittadini. Le esigenze di questi operatori variano notevolmente a seconda del tipo di organizzazione e delle sue finalità. Di conseguenza, anche gli incentivi a condividere i dati osservativi con gli NMHS o a livello internazionale con i membri della WMO sono molto diversi.

Gli incentivi per gli operatori non NMHS a stipulare partnership per i dati osservativi includono:

a. Requisiti operativi:
   i dati osservativi condivisi con gli NMHS e la WMO migliorano i prodotti e i servizi meteorologici, idrologici e climatici che supportano le loro esigenze o interessi operativi;
b. Accesso ad altre osservazioni:
   i dati osservativi sono forniti agli NMHS al fine di sfruttare l'accesso a un pool più ampio di osservazioni provenienti da altre fonti nazionali o di accedere ai dati osservativi globali scambiati tra i membri della WMO;
c. Opportunità commerciali:
   il settore commerciale desidera vendere o concedere in licenza i dati osservativi agli NMHS a scopo di lucro o per recuperare i costi;
d. Associazione con un programma di interesse pubblico:
   Il contributo tangibile dei dati osservativi a un programma riconosciuto di interesse pubblico, a livello nazionale o internazionale, conferisce notevole credibilità a molti programmi di osservazione e viene spesso utilizzato per giustificare i finanziamenti;
e. Garanzia di qualità e gestione dei dati osservativi:
   i dati osservativi vengono forniti in cambio di una valutazione autorevole della qualità da parte dell'NMHS e/o per la conservazione a lungo termine negli archivi climatici;
f. Supporto tecnico:
   i dati osservativi sono forniti in cambio di una guida autorevole e dell'assistenza da parte dell'NMHS in questioni tecniche quali attrezzature, configurazioni delle stazioni, standard, calibrazione e manutenzione;
g. Volontariato:
   I dati osservativi sono forniti da organizzazioni o cittadini come contributo al bene pubblico o per la documentazione scientifica;
h. Supporto operativo:
   le organizzazioni cercano di trasferire la gestione delle stazioni agli NMHS nei casi in cui dispongono delle risorse per acquistare le attrezzature, ma non hanno la capacità tecnica per utilizzarle.

Molti partenariati per i dati osservativi sono volontari e si basano sull'interesse reciproco e sulla buona volontà dei partecipanti per funzionare. Tuttavia, sono comuni e altamente raccomandati accordi ben documentati per definire e gestire la partnership. Questi accordi possono variare notevolmente in termini di contenuto, formalità e applicabilità, spaziando da memorandum d'intesa basati sul principio del massimo impegno a lettere d'intesa più formali o contratti legalmente vincolanti.

6.5.2 Qualità dei dati osservativi WIGOS

La qualità è una delle preoccupazioni più frequenti riguardo alle osservazioni provenienti da fonti non NMHS. La conoscenza della qualità delle osservazioni è un fattore importante per la credibilità e l'autorevolezza dei prodotti e dei servizi NMHS e WMO, pertanto l'uso di altri dati osservativi senza una solida conoscenza delle procedure di raccolta e elaborazione è considerato da molti un rischio per la qualità complessiva dei programmi NMHS e WMO.

La WMO ha storicamente utilizzato un approccio di "qualità controllata e documentata" per la qualità dei dati osservativi. La qualità è gestita attraverso standard tecnici ben definiti e pratiche raccomandate che i NMHS e altri operatori sono tenuti a rispettare. La qualità è quindi controllata attraverso un processo rigoroso. Molti operatori non NMHS non sono a conoscenza, non sono in grado o non sono disposti ad aderire ai requisiti di qualità della WMO, poiché spesso sono considerati troppo rigorosi o costosi per le loro esigenze interne. Di conseguenza, la qualità reale di gran parte dei dati osservativi non NMHS è in gran parte sconosciuta.

D'altra parte, esistono molte organizzazioni non NMHS che gestiscono sistemi ben controllati secondo standard elevati e forniscono dati osservativi di alta qualità e ben documentati, ad esempio per applicazioni nel settore dell'aviazione, delle condizioni meteorologiche stradali, dell'energia eolica, del clima e dell'idrologia. Alcune organizzazioni operano anche secondo la norma ISO/IEC 17025:2005 (Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e di taratura) per soddisfare i propri requisiti aziendali. Un altro esempio di standard di qualità dei dati osservativi è *Quality Assessment Using METEO-Cert –The MeteoSwiss Classification Procedure for Automatic Weather Stations* ((Instrument and Observing Methods Report No. 126), che viene applicata alle stazioni degli operatori non NMHS al momento dell'ispezione.

Per affrontare la questione della qualità dei dati osservativi, WIGOS ha adottato un approccio basato sul principio della qualità documentata nota. Questo approccio cerca di massimizzare i metadati descrittivi associati a un'osservazione, al fine di consentire all'utente di comprendere come sono stati prodotti i dati osservativi e di valutarne l'adeguatezza per l'applicazione prevista.

L'utente, ad esempio, sarà in grado di valutare se un'osservazione soddisfa gli standard aeronautici o è adatta al monitoraggio climatico a lungo termine.

Questo approccio è adattabile a una vasta gamma di sistemi e pratiche di osservazione e tiene conto della variabilità reale dei dati osservativi provenienti da diversi operatori di sistemi di osservazione. Ciò è particolarmente utile per supportare gli operatori nei casi in cui la conformità alle norme relative alle attrezzature e al funzionamento è disomogenea o carente. L'approccio supporta inoltre l'uso consapevole delle stesse osservazioni per molteplici applicazioni. Lo strumento principale a supporto dell'approccio della "qualità nota" è lo standard *WIGOS Metadata Standard* (WMO-No. 1192).

6.5.3 Ruoli e responsabilità

L'integrazione e l'utilizzo efficaci delle osservazioni provenienti da più fonti richiedono la collaborazione e il coordinamento delle attività di diversi enti all'interno del WIGOS. Tra questi figurano gli NMHS, le associazioni regionali, i centri regionali WIGOS (RWC) e i partner non NMHS che forniscono dati al WIGOS.

6.5.3.1 Servizi meteorologici e idrologici nazionali

In qualità di autorità nazionali per le informazioni meteorologiche, idrologiche e climatiche, gli NMHS svolgono un ruolo di leadership a livello nazionale nel miglioramento continuo delle capacità di osservazione nazionali che si basano sui principi, sulle pratiche e sulle procedure WIGOS.

Il ruolo principale dei NMHS in relazione alle osservazioni non NMHS comprende:

a. guidare l'attuazione del WIGOS a livello nazionale attraverso lo sviluppo di una strategia nazionale di osservazione e di un piano nazionale di attuazione del WIGOS;
b. gestire l'assegnazione degli identificatori delle stazioni WIGOS per le stazioni nazionali;
c. coinvolgere e incoraggiare gli operatori nazionali non NMHS a contribuire con le loro osservazioni a un pool consolidato di dati osservativi a beneficio di tutti a livello nazionale, regionale o globale;
d. articolare ed esplorare con gli operatori non NMHS i vantaggi di contribuire e condividere i loro dati osservativi con gli NMHS e i programmi della WMO;
e. Sviluppare e mantenere accordi con operatori non NMHS utilizzando meccanismi adeguati (come memorandum d'intesa o contratti) che articolino i vantaggi della partnership e specifichino i ruoli e le responsabilità dei partecipanti;
f. incoraggiare e sostenere l'uso degli standard WIGOS (come lo standard WIGOS Metadata Standard, WMO-No. 1192) e degli strumenti (come OSCAR/Surface) nella misura massima possibile per le osservazioni nazionali;
g. valutare la pertinenza, la qualità e la sostenibilità delle osservazioni non NMHS a sostegno dei programmi nazionali e globali;
h. per le osservazioni di alto valore globale, aiutare gli operatori non NMHS a conformarsi allo standard WIGOS Metadata Standard (WMO-No. 1192) per consentire la compatibilità dei metadati;
i. sostenere la divulgazione e la formazione relative al WIGOS, ad esempio sugli standard WIGOS, sulle pratiche e procedure raccomandate e sui meccanismi per lo scambio di dati osservativi;
j. sostenere una gestione efficace dei dati osservativi e/o la condivisione dei dati osservativi;
k. incoraggiare e sostenere l'attuazione di adeguati meccanismi di sicurezza informatica.

6.6.5.1 Scopo della rete

Le reti commerciali possono essere sviluppate in modo indipendente o in collaborazione. Le reti indipendenti vengono create per uno scopo commerciale specifico dall'operatore commerciale e non sono collegate al NMHS. Ad esempio, un'azienda di imbottigliamento di bevande può sviluppare una rete per monitorare la disponibilità, la quantità e la qualità dell'acqua che vende. Tale azienda potrebbe essere disposta a condividere i propri dati osservativi con l'NMHS, ma potrebbe non tenere conto di eventuali requisiti tecnici aggiuntivi, come lo standard di metadati WIGOS (WMO n. 1192). Potrebbe inoltre imporre restrizioni sull'uso e sulla ridistribuzione dei dati. Il NMHS in genere incorre in rischi di implementazione o operativi minimi o nulli, ma il rischio relativo alla disponibilità dei dati può essere elevato se le esigenze commerciali dell'operatore non vengono soddisfatte o se la divulgazione delle osservazioni incide negativamente su un vantaggio commerciale.

Le reti collaborative vengono istituite per soddisfare le specifiche esigenze tecniche e operative del NMHS, sfruttando al contempo le infrastrutture e le capacità tecniche di un partner commerciale per ottenere osservazioni in modo più efficiente in termini di costi o con minori rischi di implementazione o operativi per il NMHS. Queste reti collaborative possono, pertanto, soddisfare più facilmente i requisiti del WIGOS. Ad esempio, un'azienda privata potrebbe già disporre di siti, infrastrutture di telecomunicazione e capacità tecniche per sviluppare e gestire una rete di osservazione conforme alle specifiche del NMHS. Lo sviluppo collaborativo di questa rete consente al NMHS di stipulare un accordo di «acquisto di dati». Il rischio di implementazione e di gestione viene trasferito al partner privato, mentre la qualità dei dati può essere monitorata per garantire il rispetto delle specifiche del NMHS. Accordi a più lungo termine aumentano la sostenibilità di tali partnership per entrambe le parti.